



TERMOPLASTISEN ELASTOMEERIN LUJITTAMINEN SELLUKUIDULLA

Alina Laine

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikan suuntautumisvaihtoehto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikan suuntautumisvaihtoehto

LAINE, ALINA:

Termoplastisen elastomeerin lujittaminen sellukuidulla

Opinnäytetyö 62 sivua, josta liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2013

Tämä opinnäytetyö tehtiin FP Finnprofiles Oy:lle Sastamalaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tuotannossa syntyvän jätteen kierrätysmahdollisuuksia sekä kierrätysmateriaalin lujittamista sellukuidulla ja sen käyttäytymistä valmiissa kaksikovuisessa profiilissa. Työhön kuului myös kirjallisuusselvityksen teko aiheesta sekä perehtyminen termoplastisten elastomeerien käyttöön tuotannossa nykyanalyysin muodossa.

Opinnäytetyö kuului osana Luoma -luonnonkuitukomposiittiprojektiin, jonka tarkoituksena on edistää luonnonmateriaalien käyttöä yrityksissä. Kokeellinen osuus tehtiin yhteistyössä Elastopoli Oy:n kanssa niin, että Elastopoli Oy valmisti meille tarvittavan materiaalin tuotannon koeajoa varten.

Työssä perehdyttiin komposiitteihin ja niiden ominaisuuksiin, jotta tiedettäisiin komposiitin käyttäytymisestä enemmän. Työssä tutustuttiin myös ekstruusioon, jolla profiilit valmistetaan. Luonnonkuitukomposiitteja valmistettaessa on tärkeää ottaa huomioon prosessin lämpötila, sillä kuidut alkavat palamaan herkästi korkeissa lämpötiloissa. Suuressa osassa työssä oli myös kierrättäminen ja sen mahdollisuudet termoplastisille elastomeereille FP Finnprofiles Oy:ssä.

Työn tuloksena saatiin tietoa komposiiteista ja kierrätyksestä, sekä niiden käyttömahdollisuuksista yrityksessä. Lopuksi pohdittiin tulevaisuuden näkymiä ja mahdollisia uusia kokeiluja niin kierrätyksen kuin luonnonkuitukomposiittien osalta. Tulevaisuudessa yritys voisi testata eri kuituprosenteilla valmistettua materiaalia sekä kokeilla yksikovuisten tuotteiden kierrättämistä ja niiden lujittamista sellukuidulla.

Opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tietoa.

Asiasanat: luonnonkuitukomposiitti, termoplastinen elastomeeri, sellukuitu, ekstruusio

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

LAINE, ALINA:

Reinforcement of Thermoplastic Elastomer with Cellulose Fibre

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 4 pages
May 2013

This thesis was commissioned by FP Finnprofiles Oy located in Sastamala in Western Finland. The objective of this thesis was to examine the recycling possibilities of production waste, recycling material reinforcement with cellulose fibre and its behavior in a two-component profile. Literature survey was part of the thesis and the goal was to gain knowledge of using thermoplastic elastomers in production.

This work was part of Luoma, a natural fibre composite project and its purpose is to promote usage of natural materials in business enterprises. The empirical part was made with co-operation with Elastopoli Oy, who provided us with materials for production testing.

In this thesis composites and their properties were studied, so that their behavior would be more familiar. Also extrusion, which is used to manufacture profiles, was studied. When producing natural fibre composites it is important to take into account the process temperature, because fibres are highly flammable in the sensitive processing. Recycling and its possibilities in thermoplastic elastomers in FP Finnprofiles Oy played major part in this thesis.

As a result of this work, knowledge was gained of composites, recycling and their possibilities of usage in FP Finnprofiles Oy. The latter part of this work consists of future views and possible experimentations in recycling and natural fibre composites. In the future, enterprises might e.g. test materials with different percentage of fibre and explore recycling of one-component products and their reinforcement with cellulose fibre.

This thesis contains confidential information.

Key words: natural fibre composite, thermoplastic elastomer, cellulose fibre, extrusion

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TERMOPLASTISET ELASTOMEERIT	8
2.1	Yleistä termoplastisista elastomeereistä	8
2.2	Termoplastisten elastomeerien ominaisuuksia	9
2.2.1	Styreeniblokkikopolymeeri	10
2.2.2	Vertailua termoplastisen elastomeerin ja perinteisen kumin välillä	11
2.3	Yleistä polymeerien testaamisesta	12
2.3.1	Kovuus	12
2.3.2	Vetolujuus	13
3	PUUPERÄINEN MATERIAALI	15
3.1	Puusta peräisin olevat kuidut	15
3.2	Puukuidun rakenne	15
3.3	Selluloosa.....	16
3.4	Hemiselluloosa.....	17
3.5	Ligniini.....	17
3.6	Massan valmistus	18
4	PUUMUOVIKOMPOSIITTI.....	19
4.1	Yleistä puumuovikomposiiteista.....	19
4.2	Luonnonkuitujen käyttö komposiiteissa	20
4.3	Puumuovikomposiitin ominaisuuksia.....	22
4.3.1	Työstettävyys	23
4.3.2	Lujuus.....	23
4.3.3	Värjättävyys	24
4.3.4	Kosteudenkesto	25
4.3.5	Mittapysyvyys	26
4.3.6	Lämmönkesto	26
4.3.7	Eristyskyky.....	27
4.3.8	UV-kestävyys	27
4.3.9	Ulkonäkö	28
4.3.10	Ekologisuus	28
5	VALMISTUSMENETELMÄT.....	32
5.1	Yleistä valmistusmenetelmistä	32
5.2	Ekstruusio eli suulakepuristus	32
5.2.1	Laitteisto.....	33
5.2.2	Profiilien ja putkien valmistus	35
6	KIERRÄTETTÄVYYS.....	37

6.1	Muovien kierrätettävyys	37
6.2	Kumien kierrätettävyys	38
7	YRITYSESITTELY	40
8	TERMOPLASTISTEN ELASTOMEERIEN KÄYTTÖ	42
9	MATERIAALIN KIERRÄTYS JA RAAKA-AINE SIVUVIRrat	44
9.1	Yleistä kierrätyksestä	44
9.2	Raaka-aine sivuvirrat	44
9.3	Kierrätysmateriaalin koeajo	44
10	SELLUKUIDUN KÄYTTÖ	45
10.1	Luonnonkuidun valinta	45
10.2	Tuotannon koeajot	45
10.2.1	Sellukuitukomposiitin kompaundointi	46
10.2.2	Sellukuitukomposiitin ekstruusio	46
11	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	51
	Liite 1. Testiraportti jätemateriaalin käytöstä	51
	Liite 2. Sellukuitukomposiitin kovuudet	53
	Liite 3. Koeajosuunnitelma	54

1 JOHDANTO

Kumituotteiden, kuten profiilien, valmistuksessa syntyy jätettä. Tämän vuoksi yritykset haluavat kehittää tuotantosivuvirtojen tehokkaampaa hyötykäyttöä eli nostaa materiaalien kierrätysastetta. Yksi merkittävimpiä kehittämisalueita nykypäivänä ovat ympäristöystävällisemmät tuotteet tai prosessit, joita kuluttajat arvostavat entistä enemmän.

Opinnäytetyö kuuluu yhtenä osana Tekesin rahoittamaan Luoma- luonnonkuitukomposiittiprojektiin. Luoma-projekti on Tampereen teknillisen yliopiston rinnakkaishanke. TTY toimii asiantuntijana yritysten tuotekehityshankkeissa, joten TTY ja yritykset tekevät tiiviisti yhteistyötä projektin tiimoilta. Projekti tehdään yhteistyössä eri yritysten kanssa ja sen pääasiallisena tarkoituksena on edistää luonnonmateriaalien käyttöä teollisuudessa keräämällä tietotaitoa erilaisista luonnonkuitukomposiiteista, niiden värjäys- ja modifiointimahdollisuuksista, prosessoinnista sekä ominaisuuksista niin teoriassa kuin käytännössäkin. Projekti antaa mahdollisuuden uusien ympäristöystävällisten materiaalien kehittämiseen sekä avaa yrityksille uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Tavoitteena on selvittää eri kuitumateriaalien ja kuitu/muovi-suhteiden vaikutusta komposiitin ominaisuuksiin, jolloin on mahdollista kehittää mahdollisimman sopivia ja kustannustehokkaita materiaaleja eri käyttötarkoituksiin. (Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön ja koulutuksen kehittäminen -hanke.)

Opinnäytetyön kirjallisuusosassa tutustutaan käytettäviin materiaaleihin, luonnonkuitukomposiitteihin, valmistusmenetelmiin, sekä tuotteiden kierrättävyyteen. Kirjallisuus selvityksessä perehdytään pääasiassa niihin materiaaleihin ja valmistusmenetelmiin, joita FP Finnprofiles Oy käyttää tuotannossaan. Kirjallisuusosassa myös oletettiin, että termoplastinen elastomeeri eli TPE käyttäytyy muovin kaltaisesti, joten siinä on hyödynnetty muovipuolen kirjallisuutta. Samalla tehtiin nykytilanne analyysiä termoplastisten elastomeerien käytöstä FP Finnprofiles Oy:ssä, jossa perehdyttiin käytössä oleviin TPE tyypeihin ja niiden vaatimuksiin, raaka-aine sivuvirtoihin, materiaalin kierrättämiseen sekä luonnonkuidun valintaan.

Luonnonkuiduista valittiin sellu TTY:n tekemien testauksien perusteella, joten lopuksi työssä tehtiin tuotantomittakaavainen koeajo, jossa osa tuotteesta korvattiin kierrätysmateriaali ja sellukuitu -yhdistelmällä. Koeajo tehtiin yhteistyössä Elastopoli Oy:n

kanssa. Elastopoli Oy valmisti käytettävän materiaalin sekä teki siitä tarvittavia testauksia ennen koeajoa. Koeajon tarkoituksena oli nähdä luonnonkuidun käyttäytyminen lopputuotteessa, kuinka se vaikuttaa prosessoitavuuteen ja tuotteen ominaisuuksiin, sekä olisiko tuotetta mahdollista käyttää jatkossakin ja nostaa näin sivuvirtojen jalostusastetta sekä tuotteiden ympäristöystävällisyyttä.

2 TERMOPLASTISET ELASTOMEERIT

2.1 Yleistä termoplastisista elastomeereistä

TPE eli termoplastinen elastomeeri on elasti, jonka kimmoisuus perustuu aineensisäisiin fysikaalisiin voimiin, jotka on mahdollista purkaa lämmittämällä tai sulattamalla. Termoplastisista elastomeereistä voidaan käyttää myös nimitystä termoelasti. Erään määritelmän mukaan termoelasti on lämpömuovattava elastomeeri, jonka ominaisuudet ovat muutoin kuin kumilla. Termoelastit ovat joko kumimaisia muoveja tai kumin ja muovin sekoituksia. Kumiteollisuus on jo pitkään etsinyt materiaalia, jota voitaisiin prosessoida kuten termoplasteja, mutta sillä olisi silti kumin elastiset ominaisuudet. (Lampinen 2000, 192; Raaka-aine käsikirja 4 2001, 62; Kothandaraman 2008, 127; Lämsä 2008, 28–29; Järvelä 2009, 13.)

Termoelastit jaetaan kuuteen seuraavanlaiseen luokkaan:

Kopolymeerit:

1. polyuretaanielastomeerit (TPU)
2. styreeniblokkikopolymeerit (TPE-S)
3. kopolyesterielastomeerit (TPE-E)
4. polyamidielastomeerit (TPE-A)

Muovin ja kumin seokset:

5. polyolefiinielastomeeri (TPO)
6. termoplastiset elastomeeriseospolymeerit (O-TPV) (Raaka-aine käsikirja 4 2001, 20).

Kohdat 1-4 ovat blokkipolymeerejä, jotka koostuvat kovasta ja pehmeästä segmentistä. Materiaalin joustavat ominaisuudet syntyvät pehmeän segmentin ansiosta, kun puolestaan kova segmentti lujittaa materiaalia. Kova segmentti lujittaa materiaalia sisäisesti, joten lujittavia täyteainepartikkeleja ei välttämättä tarvita. Kovan faasin sulaessa materiaali pääsee virtaamaan ja näin ollen sitä voidaan helposti työstää. Blokkipolymeeri on materiaali, joka on huoneenlämpötilassa elasti, mutta muuttuu lämpötilan noustessa nesteeksi. Se on myös helposti työstettävissä uudelleen. Kohdat 5-6 ovat kestopuovin ja kumin seoksia, joissa kumi on jakaantunut kestopuoviin hiukkasina. Kumista ja muo-

vista syntyneet faasit ovat sekoitettu toisiinsa mekaanisesti, joten blokkipolymeereista poiketen näillä on vain yksi faasi. Eniten valmistettuja ja halvimpia kopolymeereistä ovat styreenin ja dieenin lohkopolymeerit. Polyesteri- ja polyamidityypiset kumit ovat huomattavasti kalliimpia ja niitä käytetäänkin tämän vuoksi vain erikoistarkoituksiin. (Lampinen 2000, 192; Raaka-aine käsikirja 4 2001, 62; Lämsä 2008, 28–29.) FP Finnprofiles Oy käyttää styreeniblokkikopolymeerejä, tarkennettuna SEBS:iä, joten ne otetaan lähempään tarkasteluun kappaleessa 2.2.1.

Termoelasteja käytetään esimerkiksi tiivistenauhoissa ja autoteollisuuden muoviosissa. Kohteissa, joissa mekaaninen rasitus ja nesteiden kestävyys vaativat parempaa suorituskykyä, käytetään korkeamman suorituskyvyn termoelasteja. Myös erikoissovelluksissa, joissa tarvitaan hyvää sähköneristystä tai korkeita palonesto-ominaisuuksia, käytetään termoelasteja. Lääketieteessä termoelasteja käytetään erilaisissa letkuissa, injektioruiskissa ja katetreissa. Kasvava käyttökohde ovat elintarvikepakkaukset. (Lämsä 2008, 29.)

2.2 Termoplastisten elastomeerien ominaisuuksia

Aikaisemmin termoelasteja pidettiin uhkana kumeille, mutta nykyään termoelastit ovat korvanneet muovikomponentteja hyvien ominaisuuksiensa ansiosta. Ennen saatettiin käyttää esimerkiksi auton valmistuksessa kumin ja metallin yhdistelmiä, niin nykyään ne voidaan korvata käyttämällä termoelasteja. Termoelasteja voidaan työstää useita kertoja. Termoelastit toimivat laajalla lämpötilavälillä, kuten vulkanoitu kumi, mutta korkeissa lämpötiloissa ne muuttuvat pehmeiksi työstettäviksi aineiksi, kuten kestumuovit. Kun sula aine jäähtyy, sen kumimainen luonne palautuu. Tämä termoplastisuus johtuu siitä, että molekyylien väliset sidokset ovat suurimmaksi osaksi fysikaalisia eikä kemiallisia. Suurimpina etuina termoelasteilla on ennen kaikkea niiden monipuolisuus, jätteen kierrätettävyys, sekä alhaiset tuotantokustannukset ja helppo työstettävyys muovikoneilla. Lujittavia täyteaineita ei myöskään välttämättä tarvita. Myöskään kalliita ja hitaita kompaundointi- ja vulkanointivaiheita ei tarvita. Termoelastien haittapuolena verrattuna perinteiseen kumiin on sen kestumuovimainen käyttäytyminen korkeissa lämpötiloissa eli sen korkeiden lämpötilojen pitkäaikainen kesto ei ole kovin hyvä. Tämä rajoittaa termoelastien käyttöä vaativissa kohteissa. Myös elastiset ominaisuudet ovat hieman heikommat kuin tavallisilla kumeilla. Tekniset ominaisuudet riippuvat kovan faasin

sulamlämpötilasta ja pehmeän faasin lasittumislämpötilasta. (Tammela 1989, 332; Lampinen 2000, 192; Raaka-aine käsikirja 4 2001, 62; Kothandaraman 2008, 127–128; Lämsä 2008, 28.)

2.2.1 Styreeniblokkikopolymeeri

Styreeniblokkikopolymeeri (TPE-S) eli termoplastinen styreenielastomeeri koostuu kovasta polystyreenilohkosta (A) ja pehmeästä polydieenilohkosta (B). Termoplastisten styreenielastomeerien rakenne on siis muotoa $(AB)_n$. Kun dieenilohko on butadieeni, on polymeerin lyhenne SBS. Lohkon ollessa isopreeni, on lyhenne SIS. PS-lohkot erottuvat omaksi faasikseen lasittumislämpötilan alapuolella muodostaen jäykän rakenteen. Rakenne toimii fysikaalisena ristisidoksena elastomeerin pehmeille lohkoille. Styreenipitoisuus vaihtelee 20-40 % välillä SBS- ja SIS- elastomeereilla. Parhaimmillaan elastomeerin vetolujuus on 35 MPa ja venymä on 1100 %. Näiden elastomeerien käyttölämpötila on korkeimmillaan 60 °C. Noin 50 % termoplastisten elastomeerien tuotannosta muodostuu styreenisistä lohkopolymeereistä. TPE-S- tyyppit ovat halvimpia termoelasteja ja niiden sähköneristyskyky on hyvä. Lämmön- ja liuottimien kesto on sen sijaan hieman heikompi. Hiilivetyöljyjen kestävyys on huono, mutta polaaristen liuottimien kesto on parempi. Termoplastisilla styreenielastomeereilla on korkea vetolujuus, hyvä läpinäkyvyys, suuri kitkakerroin ja matala ominaispaino. TPE-S tyypeillä on erittäin hyvä eristyskyky. SBS ja SIS sisältävät useita tyydyttymättömiä kaksoissidoksia. Tämän vuoksi ne eivät sovi kohteisiin joissa vaaditaan otsonin, UV-säteilyn tai korkeiden lämpötilojen kesto. (Tammela 1989, 333–334; Mustonen 1999, 6-10; Lampinen 2000, 193; Lämsä 2008, 31.)

TPE-S suurin käyttöalue ovat jalkineet. Lisäksi autoteollisuus käyttää termoplastisia styreenielastomeereja. TPE-S hyödynnetään myös tiivisteissä, letkuissa ja erilaisissa liimoissa. On myös olemassa laatuja, joissa pehmeä dieenilohko on hydrattu. Tällöin saadaan parannettua lämmönkesto, UV-säteilyn kesto ja vanhenemisominaisuuksia, jotka tavallisilla laaduilla ovat huonommat. (Tammela 1989, 335; Mustonen 1999, 12; Lämsä 2008, 31.)

Hydratut lohkopolymeerit ovat lineaarisia kolmilohkopolymeereja. Nämä muodostuvat polystyreenilohkoista ja elastomeerilohkosta. Elastomeerilohko on useimmiten eteenin

ja buteenin kopolymeeri, joka valmistetaan hydraamalla butadieenistä. Nämä TPE materiaalit syntyivät, kun TPE-S materiaaleihin haluttiin enemmän vulkanoitavien kumien ominaisuuksia. (Mustonen 1999, 12; Lämsä 2008, 32.)

Styreeni-eteenibuteeni-styreeni (SEBS) lohkopolymeereilla on alhainen lasisiirtymälämpötila ja vähän kiteisyyttä eli hyvät elastomeeriset ominaisuudet. SEBS ei sisällä lainkaan kaksoissidoksia. Optimiyhdistelmä saavutetaan kun buteenia on lisätty noin 35 %. SEBS:illä ei ole havaittu ollenkaan styreenipitoisuuden vaikutusta lujuuteen. SEBS polymeerit ovat myös jäykempiä ja lujempia sekä niiden venymä on pienempi kuin SBS polymeereillä. Erittäin suuren molekyylipainon SEBS -tyypeillä ongelmaksi voi muodostua materiaalin sulavirtausominaisuudet. (Mustonen 1999, 7, 12–14; Lampinen 2000, 193; Lämsä 2008, 32.)

2.2.2 Vertailua termoplastisen elastomeerin ja perinteisen kumin välillä

Vuonna 1999 esitettiin, että termoelastit ovat vakiinnuttaneet asemansa enemmän termoplastien kuin perinteisen kumin kilpailijana. Usein kuitenkin polymeerejä käsittelevissä kirjallisuudessa kerrotaan, että termoelastit syrjäyttävät perinteisen kumin kasvavassa määrin monissa eri käyttökohteissa. Sen vuoksi termoelasteja usein vertaillaan perinteiseen kumiin. (Lämsä 2008, 30.)

Termoplastisilla elastomeereillä on seuraavia etuja verrattuna vulkanoitavaan kumiin:

- prosessoitavuus on helpompaa
- työvaiheita on vähemmän
- TPE vaatii vain vähän tai ei lainkaan sekoittamista muihin materiaaleihin
- TPE:tä on saatavilla täysin seostettuina ja käyttövalmiina
- TPE voidaan helpommin kierrättää
- prosessoinnissa on mahdollisuus tiukempaan kontrolliin mittatarkkuudessa
- voidaan tehdä esteettisempiä tuotteita (Kothandaraman 2008, 127; Lämsä 2008, 30–31).

Termoplastisilla elastomeereillä on puolestaan seuraavia haittoja verrattuna vulkanoitavaan kumiin:

- ennen prosessointia jotkut TPE:t on kuivattava
- sulamislämpötilan yläpuolella polymeerirakenne alkaa hajota

- korkeat valmistuskustannukset vaativat suuret tuotantovolyymit, jotta valmistus olisi kannattavaa
- kilpaileva TPE raaka-aine on yleensä kalliimpaa kuin vastaava kumiraaka-aine suurina erinä (Lämsä 2008, 30–31).

2.3 Yleistä polymeerien testaamisesta

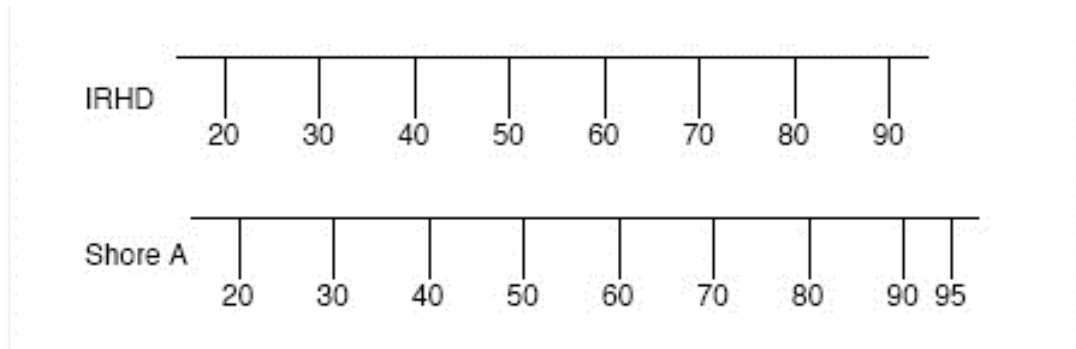
Materiaalin ominaisuuksien kokeellinen määrittäminen on polymeerien testaamista. Testaus liitetään usein laadunvalvontaan, mutta testausta voidaan hyödyntää myös esimerkiksi materiaalien kehittämisessä ja valmistusprosessin asetusarvojen optimoinnissa. Tämä edellyttää eri ominaisuuksien testaamista ja tutkimista. Tärkeimpiä testausmenetelmiä ovat: reologisten, mekaanisten, termisten, sähköisten ja kemiallisten ominaisuuksien testaaminen. Nykyään testaukset noudattavat tarkasti ISO-standardeja, joten tuloksien vertailukelpoisuus ja luotettavuus on parantunut. (Väliaho 2011.) Profiileja valmistettaessa tärkeimmät testaukset ovat kovuusmittaukset ja vetotestit, joista kerrotaan lisää kappaleissa 2.3.1 ja 2.3.2.

2.3.1 Kovuus

Se kuinka kovaa tai pehmeää testattava aine on, selvitetään kovuuskokeiden avulla. Kovuus mielletään materiaalin kyvyksi vastustaa pysyviä muodonmuutoksia, kuten naarmuuntumista ja painautumia, staattisen kuormituksen aikana. Testin aikana testattavan kappaleen pintaan painetaan koetyypin mukaan standardoitua neula-, kuula-, kartio- tai pyramidipaininta. Kovuus saadaan laitteesta riippuen joko painumasta tai kärkeen kohdistuvasta vastavoimasta. Kullakin laitteella on ominainen yksikkönsä, joten kovuutta ei voida ilmaista absoluuttisissa yksiköissä. (Raaka-aine käsikirja 4 2001, 141; Kurri ym. 2002, 193.)

Käytetyimmät laitteet ovat IRH-mittarit ja Shore-mittarit. Näissä kovuus ilmaistaan IRH- tai ShA- yksiköissä ja käytännössä yksiköt vastaavat lähes toisiaan. IRH- yksiköistä voidaan käyttää myös merkintöjä IRHD ja °IRH. 90 ShA:ta kovemmat materiaalit suositellaan mitattavaksi ShD-mittarilla. Myös jos ShD:llä saatu arvo alittaa 20, kannattaa käyttää ShA-mittaria. Materiaalin pinnan kovuutta on mahdollista parantaa mo-

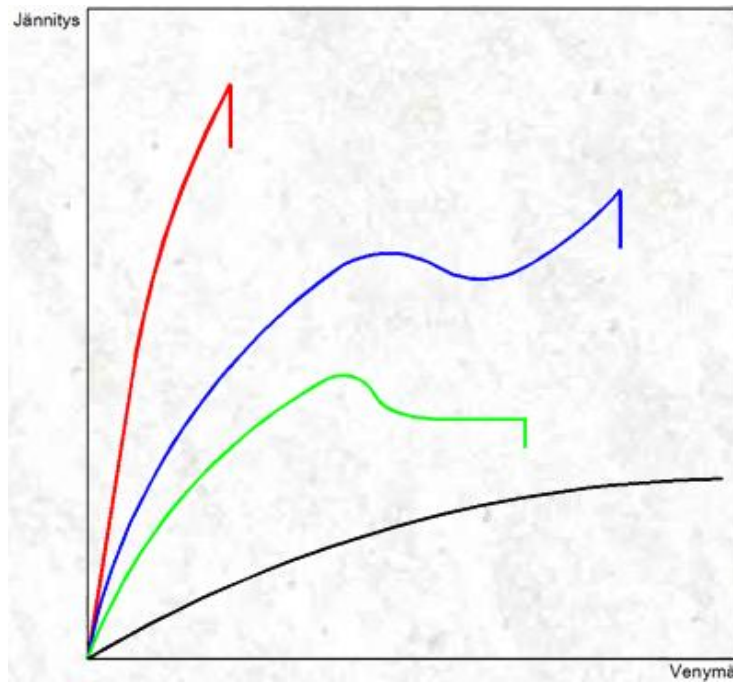
nilla lisäaineilla sekä pinnoituksilla. Täytyy kuitenkin muistaa, että kovuus ei ole sama asia kuin kulumiskestävyys, sillä jollain materiaaleilla voi olla hyvä kovuus mutta heikko kulumiskestävyys. (Raaka-aine käsikirja 4 2001, 141; Kurri ym. 2002, 193.) Kuviossa 1 havainnollistetaan IRH- ja ShA- kovuus yksiköiden samankaltaisuutta.



KUVIO 1. IRH- ja ShA- kovuusyksiköt (Kuva: chromex)

2.3.2 Vetolujuus

Vetolujuusmittauksella saadaan tietoa materiaalin lujuus- ja sitkeysikäytymisestä sekä jäykkyydestä. Vetotestillä määritetään mm. vetolujuus, myötöraja ja murtolujuus. Vetokokeessa standardikoesauvaa venytetään pituussuunnassa vakionopeudella ja mitataan samalla venytystä vastustavaa voimaa. Vetolaitteen piirturi piirtää jännitys-venymä-käyrän, josta saadaan tulos. Testi on hyvä tehdä useammalla koesauvalla tuloksen luotettavuuden parantamiseksi. Käyrän antamien arvojen perusteella voidaan laskea myötörlujuus, murtojännitys, vetolujuus ja murtovenymä. Kuviossa 2 on esitetty tyypillisiä jännitys-venymä -käyriä. Punainen käyrä esittää haurasta materiaalia, sininen ja vihreä sitkeää materiaalia, jolla on myötöraja ja musta käyrä esittää sitkeää materiaalia, jolla ei ole myötörajaa. (Kurri ym. 2002, 190–191; Seppälä 2008, 69–70.)



KUVIO 2. Tyypillisiä jännitys-venymä -käyriä (Kuva: Luonnonkuitukomposiittien opetusympäristön ja koulutuksen kehittäminen -hanke.)

Sinisellä ja vihreällä käyrällä on havaittavissa myötöraja, jonka jälkeen tapahtuu venymistä ilman huomattavaa voimantarpeen lisäystä. Käyrällä tämä havaitaan paikallisena maksimina. Myötörajan jälkeen alkaa kappaleen muodonmuutos poiketa Hooken kimmomaisuudesta ja tapahtuu pysyvää muodonmuutosta sekä vauriota lopputuotteelle. (Seppälä 2008, 70–71.)

Kimmokerroin kuvaa materiaalin jäykkyyttä. Kimmomoduuli saadaan jännitys-venymä -käyrälle origosta piirretyn tangentin kulmakertoimesta. Koekappaleen suurin kestävä vetojännitys on materiaalin vetolujuus. Standardissa on annettu yhdeksän vetonopeutta välille 1 mm/min -500 mm/min. Nopeuden käyttö on riippuvainen tutkittavien materiaalien ominaisuuksista. Samasta materiaalista tehdyt mittaukset eri nopeuksilla saattavat antaa hyvinkin paljon toisistaan poikkeavia tuloksia. (Seppälä 2008, 71–73.)

3 PUUPERÄINEN MATERIAALI

3.1 Puusta peräisin olevat kuidut

Puupitoiset kuidut ja selluloosakuidut ovat puusta saatavia kuituja. Puupitoiset kuidut valmistetaan mekaanisesti ja ne sisältävät ligniiniä. Kemiallisen ligniinin erotusprosessin avulla valmistetaan selluloosakuituja. Sulfaattiprosessi on yleisen käytetty kemiallinen erotusprosessi. Jos halutaan valmistaa yksi tonni mekaanista kuitua, tarvitaan siihen 2,8 kuutiometriä puuta. Jos halutaan valmistaa yksi tonni sellua, tarvitaan siihen 5,4 kuutiometriä puuta. (Holma 2008, 3.)

3.2 Puukuidun rakenne

Puu koostuu pitkänomaisista soluista, joiden muodot ja tehtävät ovat erilaisia. Useimmat solut kasvavat rungon suuntaisesti ja näitä kutsutaan kuiduiksi. Kuitu sisältää siis vain yhtä ainoaa solua. Kuitu voidaan määritellä siten, että kuidut ovat hyvin ohuita ja pituus on vähintään sata kertaa halkaisija. Lehtipuiden kuitujen pituus on keskimäärin noin 1 millimetri. Havupuilla puolestaan tämä on noin 3-4 millimetriä. Kuitujen koko vaihtelee eri puulajien välillä ja se voi vaihdella saman puunkin sisällä. Lehtipuita kutsutaan koviksi puiksi, sillä niiden tiheys on suurempi verrattuna pehmeisiin havupuihin. Tyypillinen havu- ja lehtipuiden ero on ligniinin ja hemiselluloosan määrä. Lehtipuut sisältävät enemmän hemiselluloosaa ja vähemmän ligniiniä. Tämä antaa runsaan saannon ja vaikuttaa myös massojen ominaisuuksiin. Suurempi vaikutus havu- ja lehtipuiden välisiin eroihin on kuitenkin kuitumitoilla kuin kemiallisilla ominaisuuksilla. Mitä pidempi on kuitu, sitä lujempaa on massa. Esimerkiksi paperinvalmistuksessa on otettava huomioon, että havupuumassasta voidaan valmistaa huomattavasti lujempaa paperia kuin lehtipuumassasta. Kuitupituudella on kuitenkin myös oma optiminsa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 26–27; Holma 2008, 3.)

Selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini ovat puukuidun tärkeimmät ainesosat. Puukuitu sisältää myös vähäisiä määriä uuteaineita riippuen puulajista. Puukuidut ovat muutaman millimetrin pituisia putkia, joiden solut ovat liimautuneet toisiinsa ligniiniverkoston avulla. Puukuidussa on keskimäärin selluloosaa 41 %, hemiselluloosaa 29 %, ligniiniä

26 % ja uuteaineita alle 5 %. (Paperin kemiaa 2005; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 24–27; Holma 2008, 3-4.) Taulukossa 1 on havainnollistettu havu- ja lehtipuiden kemiallisen koostumuksen eroavaisuuksia.

TAULUKKO 1. Puun kemiallinen koostumus

	Selluloosa (%)	Hemiselluloosa (%)	Ligniini (%)	Uuteaineet (%)
Havupuu	42	26-28	27-28	<5
Lehtipuu	40	30-35	20-25	<5

3.3 Selluloosa

Yleisin luonnossa esiintyvä polymeeri on selluloosa. Se on lineaarinen, pitkäketjuinen polysakkaridi ja se koostuu toisiinsa sitoutuneista glukoosiyksiköistä. Selluloosan kemiallinen kaava on $(C_6H_{10}O_5)_n$. Useimpien kasvien soluseinissä on selluloosaa rakenne- ja tukiaineena. Yleisimmin selluloosa tunnetaan puun soluseinän pääkomponenttina. Myös jotkut bakteerit, sienet ja levät tuottavat selluloosaa kasvien ohella. (Paperin kemiaa 2005; Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 65–66; Holma 2008, 4.)

Solugeometria on jokaisella selluloosatyyppillä oma. Tämä määrittää selluloosan mekaaniset ominaisuudet. Selluloosa on veteen liukenematon ja eikä se myöskään yleensä liukene tavallisimpiin liuottimiin. Selluloosalla on kuitenkin taipumus sitoa vettä itseensä, jonka vuoksi selluloosakuidut turpoavat. On kuitenkin muutamia liuottimia, joihin selluloosa liukenee. Näitä ovat esimerkiksi metalli/amiiniliuottimet. Selluloosa hajoaa yli 300 °C, vaikka sillä ei varsinaista sulamispistettä olekaan. (Isotalo 2004, 43; Paperin kemiaa 2005; Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 71–72; Holma 2008, 4.)

Paperin pääraaka-aineena käytetään selluloosaa. Keittämällä ja kemikaalien avulla selluloosa erotetaan puuaineksesta. Sooda-, sulfiitti- ja sulfaattimenetelmiä käytetään erottamaan selluloosaa. Sulfaattiprosessissa saadaan uuteaineisiin perustuvia rinnakkaistuotteita, kuten tuttua mäntyöljyä sekä tärpättiä. Sulfiittiprosessissa puolestaan rinnakkaistuotteita ei useinkaan kerätä talteen. (Isotalo 2004, 103, 111; Paperin kemiaa 2005; Holma 2008, 4.)

3.4 Hemiselluloosa

Vaikka usein luullaan, niin hemiselluloosa ei ole selluloosan muoto. Hemiselluloosa muistuttaa selluloosaa, mutta poikkeaa kuitenkin tästä ominaisuuksiensa ja rakenteensa vuoksi. Rakenteeltaan hemiselluloosat ovat haaroittuneita polysakkarideja. Lehti- ja havupuiden hemiselluloosapitoisuudet- ja koostumukset poikkeavat toisistaan. Lehtipuiden hemiselluloosa koostuu pääosin ksylaanista, kun taas havupuilla pääosa on glukomannaania. Hemiselluloosa on huomattavasti lyhyempi polymeeri kuin selluloosa ja tämän vuoksi selluloosan polymeroitumisaste on noin sata kertaa korkeampi kuin hemiselluloosan. Hemiselluloosat ovat hydrofiilisiä ja osa on jopa vesiliukoisia. Soluseinässä hemiselluloosa on kuitenkin sitoutunut ligniinin kanssa yhteen ja ei tämän vuoksi helposti liukene veteen. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 73–83; Holma 2008, 4.)

3.5 Ligniini

Ligniini on luonnon polymeeri, joka on rakenteeltaan haaroittunut ja verkkomainen. Ligniini koostuu aromaattisista fenyyli- ja fenyylipropaaniyksiköistä. Ligniini muodostaa vahvoja sidoksia ja se on monimutkainen hiilivety. Selluloosan jälkeen ligniini on maapallon toiseksi yleisin biopolymeeri. Puussa ligniini toimii kuitujen sidosaineena. Ligniinille ei voida määritellä selkeää kemiallista rakennetta. Kasveissa oleva ligniini koostuu pääasiassa kolmesta eri monomeeriyksiköstä, mutta rakenne vaihtelee riippuen kasvista. Nämä monomeerit ovat para-kumaryylialkoholi, koniferyylialkoholi ja sinapyylialkoholi. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 84; Holma 2008, 4.)

Havupuiden ligniini koostuu pääasiassa koniferyylialkoholista ja lehtipuissa ligniini koostuu lähinnä koniferyyli- ja sinapyylialkoholista. Ligniinillä on funktionaalisia ryhmiä, joista riippuu sen reagoiminen muiden yhdisteiden kanssa. Tärkeimpiä ryhmiä ovat fenoliset hydroksyyli- ja bentsyylialkoli ja karbonyyliryhmät. Ligniini on käytännössä liukenematon orgaanisiin liuottimiin ja ligniini on lähes mahdotonta erottaa puumateriaalista ilman, ettei se pilkkoutuisi edes osittain. (Isotalo 2004, 51–52; Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 84, 92–93 ; Holma 2008, 4.)

Ligniinin ajatellaan olevan puun haitallinen komponentti, sillä se sitoo yhteen selluloosan ja hemiselluloosan. Tämän vuoksi ligniini yritetään poistaa massassa mahdollisim-

man tehokkaasti. Sellun keitolla pyritään poistamaan juuri ligniini ja tämän avulla ligniini saadaankin poistumaan lähes kokonaan. Esimerkiksi vanhan paperin kellastuminen aiheutuu ligniinin kellertävästä väristä. Ligniinillä on hyvä lämpöarvo, jonka vuoksi se yleensä poltetaan selluteollisuudessa. Myös muissa käyttötarkoituksissa voidaan ligniiniä hyödyntää. (Isotalo 2004, 51–52; Holma 2008, 4–5.)

3.6 Massan valmistus

Kuidut on erotettava toisistaan, jotta voidaan valmistaa massaa. Erotus voidaan tehdä joko mekaanisesti, kemiallisesti tai näiden yhdistelmänä. Mitä enemmän erotuksessa käytetään kemikaaleja, sitä pienempi on saanto. Mekaanisessa massan valmistuksessa kuidut irrotetaan toisistaan mekaanisen rasituksen avulla. Tällä menetelmällä saadaan hioketta ja hierrettä. Kemiallisessa massan valmistuksessa ligniini erotetaan kemikaalin avulla ja näin saadaan kuidut erotettua toisistaan. Kemiallinen massa on lujuusominaisuuksiltaan melko hyvää ja menetelmällä saadaan tuotettua kemiallista massaa eli sellua. Mekaanisen ja kemiallisen menetelmän yhdistelmällä saadaan tuotettua kemikaanista massaa eli puolisellua. (Isotalo 2004, 59; Holma 2008, 5.)

4 PUUMUOVIKOMPOSIITTI

4.1 Yleistä puumuovikomposiiteista

Kuiduilla vahvistettua polymeeriä kutsutaan polymeerikomposiitiksi. Kuidut voivat olla yksittäisiä, lyhyitä, pitkiä tai kuitumatoksi kudottuja. Kertamuovikomposiitteja on edelleen suurin osa polymeerikomposiiteista, kuten urheiluvälineissä. Kuitenkin kestopuuvikomposiittien kiinnostus kasvaa koko ajan, esimerkiksi autoteollisuudessa. (Sepälä 2008, 28.)

Puumuovikomposiitit ovat materiaalina suhteellisia uusia. Muovin avulla pyritään puun käyttöominaisuuksia parantamaan ja toisinpäin. (Pirkola 2010, 19.) Puumuovikomposiiteissa yhdistyvät siis puun ja muovin parhaat ominaisuudet kuten keveys, lujuus, hyvä kemikaalienkesto sekä kosteuden- ja lahonkestävyys. Puumuovikomposiitit on myös mahdollista kierrättää. (Lappeenranta University of Technology, 1–2.)

Puu ja muovi ovat puumuovikomposiiteissa päämateriaaleina, mutta niiden lisäksi käytetään myös pieniä määriä muita lisäaineita, kuten väriaineet, vaahdotusaineet, kiinnitysaineet ja voiteluaineet. Näillä pyritään vaikuttamaan tuotteen ominaisuuksiin ja sen työstettävyyteen. Voiteluaineet esimerkiksi parantavat syntyvää pinnanlaatua ja kiinnitysaineet lujittavat komposiitin rakennetta. (Lappeenranta University of Technology, 2–3) Kuvassa 1 näkyy puumuovikomposiitin raaka-aineita.



KUVA 1. Puumuovikomposiitin raaka-aineita (Kuva: Kalle Heiska, VTT tiedote 2003)

Lämpökäsittelyllä on vaikutusta puun ominaisuuksiin, sillä se muuttaa puun kemiallista rakennetta. Lämpökäsittely parantaa puun sään- ja lahonkestävyyttä. Puun kosteuseläminen saattaa pienentyä jopa kymmenesosan lämpökäsittelyn ansiosta. Myös puun lämmöneristysominaisuudet paranevat, joka saattaisi vaikuttaa komposiitin lämmöneristyskykyyn positiivisesti. Puun lujuusarvot hieman heikkenevät lämpökäsittelyn johdosta. Lämpökäsittelyllä puun tasapainokosteus pienenee ja pihka poistuu, jolloin tuote kevenee. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 4.)

Muovin valinnalla pystytään vaikuttamaan lopputuotteen ominaisuuksiin. Muovilaatuja on kymmenittäin ja näistä on valmistettu tuhansittain erilaisia alatyyppejä erilaisin ominaisuuksin. Muoveilla on monipuolinen räätälöintimahdollisuus ja hallittavuus. Muovit vaativat korkeita prosessointilämpötiloja kun taas luonnonkuiduilla lämmönkesto on rajallinen. Ongelmia aiheuttaa tuotantoprosessin korkea lämpötila, joten tärkein vaatimus kestopuoveja ja puukuituja yhdistettäessä onkin, että muovien sulamislämpötila tulee olla alle lignoselluloosayhdisteiden hajoamislämpötilan. Tähän soveltuvia kestopuoveja ovat muun muassa polypropeeni, polystyreeni, vinyylit, LD- ja HD-polyeteenit sekä ABS ja ASA. Lopputuotteelle asetetut vaatimukset ja ominaisuudet vaikuttavat muovilajin valintaan. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 4–5.)

Puumuovikomposiitit ovat rakenteeltaan hyvin painavia ja tähän ongelmaan on ratkaisuna se, että puumuovikomposiittituotteet voidaan valmistaa ontoiksi. Suomessa tästä tunnetuimpana esimerkkinä on UPM Profi Deck- terassilaudat, jotka ovat kennorakenteisia. Kyseiset terassilaudat on valmistettu muovijätteestä ja puusta sekä tuote on mahdollista kierrättää. (Pirkola 2010, 20.)

4.2 Luonnonkuitujen käyttö komposiiteissa

Lasi- ja hiilikuitujen ohella kasviperäiset kuidut on jo pitkään yhdistetty termoplastisiin materiaaleihin. Luonnonkuiduilla on suhteellisen korkea lujuus ja jäykkyys sekä alhainen tiheys, jonka vuoksi ne soveltuvat hyvin lujittamaan muoveja. Kilpailijoina luonnonkuiduilla on tekniset kuidut, kuten lasi- ja hiilikuidut. Näillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet, jotka eivät juuri vaihtelee. Tekniset kuidut ovat kuitenkin hyvin vaikea, jopa ongelmallista, kierrättää. (Holma 2008, 18.)

Puumuovikomposiitit koostuvat kerta- tai kestopuuvista ja puukuiduista. Kuidut sekoitetaan sulan muovimassan joukkoon. Suomessa on edullisinta käyttää puuteollisuuden sivutuotteita, kuten haketta, sahanpurua ja sellua. Paperi- ja kartonkiteollisuuden kierrätysmateriaaleja sekä paperikuituja voidaan myös käyttää. Hyvälaatuista jättepuuta ja kierrätysmuovia voidaan myös käyttää puumuovikomposiitin raaka-aineena. Tämän vuoksi käytettävät raaka-aineet ovat suhteellisen edullisia. Myös muita luonnonkuituja voidaan käyttää puukuidun sijasta, kuten kenafia, hamppua, pellavaa, sisalia, bambua tai banaanikuitua. Puukomposiitti sisältää useimmiten 30-85 % lujitetta. Komposiitin ominaisuuksiin vaikuttaa olennaisesti muovin ja puuaineksen määrä. Yksittäisten pitkien kuitujen sijasta, puukuitu hyödynnetään yleensä jauhona tai lyhyinä kuituina. Luonnonkuidut ovat halpoja, uusiutuvia ja hajoavat luonnossa, jonka vuoksi komposiittimateriaali voidaan kierrättää tai polttaa energiaksi. Luonnonkuidut ovat myös kevyitä ja ne kuluttavat vähemmän työstökoneita verrattuna perinteisiin lujitteisiin. (VTT 2003; Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 3; Pirkola 2010, 19.)

Luonnonkuidut ovat siis ympäristöystävällisiä, eivätkä tuhoa fossiilisia luonnonvaroja toisin kuin synteettiset kuidut. Synteettisen kuitujen hinnan nousu on aiheuttanut luonnonkuitujen käytön lisääntymisen komposiiteissa ja näin ollen on saatu ominaisuuksiltaan jopa parempia komposiitteja. Luonnonkuidut eivät kestä paljoakaan ympäristön vaikutuksia. Tämä pitää ottaa huomioon komposiitteja valmistettaessa. Luonnonkuidut ovat biohajoavia ja silti niillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet. Tämän vuoksi niitä voidaan hyödyntää monessa sovelluksessa. (Holma 2008, 18.)

Puu on luonteeltaan erilainen kuin muovi, eikä sen rakennetta pysty ennalta säätelemään. Mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet luonnonkuiduilla vaihtelevat paljon, ja siksi eri puulajeilla on erilaisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi lujuus, paino, sitkeys ja kosteudenkesto. Puukuitujen ominaisuudet vaihtelevat puulajeittain sekä kasvupaikka- ja puukohtaisesti. Kuidun ominaisuuksiin ja rakenteeseen vaikuttaa oleellisesti myös sellukuidun valmistusmenetelmä. Myös kuitujen kemiallinen ja rakenteellinen koostumus vaikuttaa ominaisuuksiin. Sekapuuajutteen käyttöä on pidetty hyvänä vaihtoehtona, mutta kuitenkin parhaisiin tuoteominaisuuksiin päästään käyttämällä yhdestä puulajista peräisin olevaa puukuitua. Puulaji valitaan tuotteen vaatimusten mukaisesti. Jotkut puulajit soveltuvat paremmin sisäkäyttöön, kun taas toiset puulajit soveltuvat paremmin ulkokäyttöön. Esimerkiksi pyökki ei siedä kosteutta, kun puolestaan lehtikuusi ja terveleppä kestävät hyvin kosteutta. Tiikillä on puolestaan hyvät lujuus- ja kestävyysominais-

suudet. Vaahtera on sitkeää, tiivistä ja kovaa, jonka vuoksi se soveltuu erinomaisesti soitinmateriaaliksi. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 4; Holma 2008,18.)

Puulajien sisältämät orgaaniset kemikaalit voivat mahdollisesti vaikuttaa komposiitin työstöön ja valmistusprosessiin. Ongelmia aiheuttavat muun muassa puuraaka-aineen mukana tulevat epäpuhtaudet. Jotkin puulajit, kuten haapa, tylsyttävät työvälineitä. Myös pinnoitettavuus- ja kyllästettävyyssominaisuudet vaihtelevat eri puulajien välillä. Näillä voi olla vaikutusta muovin imeytymiseen puuhun ja niiden sitoutumiseen toisiinsa. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 4.)

Lignoselluloosakuituja käytetään muovien täyteaineissa ja lujitteissa, koska ne ovat edullisia, niillä on alhainen tiheys sekä korkea täyttöaste. Lignoselluloosakuidut ovat myös jäykkiä, helposti kierrätettäviä ja biohajoavia. (Holma 2008, 18.) Lignoselluloosasta puhuttaessa tarkoitetaan kasvin biomassaa, jossa yhdistyy selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. Lignoselluloosaa saadaan esimerkiksi paperiteollisuuden jätteistä. Joskus saatetaan kuitenkin puhua selluloosakuiduista, vaikka tarkoitetaan lignoselluloosakuituja.

4.3 Puumuovikomposiitin ominaisuuksia

Puu- ja muovimateriaalin valinnalla on vaikutusta puumuovikomposiittien ominaisuuksiin. Puu- tai muovilajia muutettaessa eivät välttämättä ominaisuudet ainakaan kaikilta osin säily samanlaisena. Siksi ominaisuuksien kuvailun yhteydessä on pyritty selvittämään erilaisia mahdollisuuksia, joilla voidaan vaikuttaa kyseisiin ominaisuuksiin. Ominaisuuksien yhteydessä käytetään välillä vertailua puu- ja muovimateriaaliin. Tällä saadaan havainnollistettua puumuovikomposiitin vahvuuksia, heikkouksia ja mahdollisuuksia. (Siponen 2006, 5.)

Profiilien valmistuksen erityisvaatimukset on tärkeää huomioida, kun selvitetään komposiitin ominaisuuksia. Käyttötarkoitus määrää suurimmaksi osaksi tuotteelle asetetut vaatimukset. Profiileilta vaaditaan tiettyjä lujuusominaisuuksia, joiden on täytyttävä. Ulkonäöllä on suuri merkitys asiakkaalle ja näkyviin osiin vaaditaan entistä tarkempaa ja hienompaa ulkonäköä. Nykypäivänä arvostetaan myös tuotteen ekologisuutta ja helppoa kierrätettävyyttä. Se on siis otettava huomioon komposiitteja valmistettaessa. Profiili-

leita on myös saatavana erivärisinä, joten värjäyksen on oltava mahdollista. Kovuus on ratkaisevassa asemassa valmistettaessa profiileja, sillä profiileja valmistetaan erikovuusina, yksi- tai kaksikovuusina. Kun lisätään kuitulujitetta tuotteeseen, on sen saavutettava sille määrätty kovuusominaisuudet.

4.3.1 Työstettävyys

Puumuovikomposiitteja on mahdollista sahata, hioa, jyrsiä, porata, liimata, naulata ja ruuvata. Naulaaminen on kuitenkin hankalaa, joten yleensä suositetaan reikien poraamista. Naulaamis- ja ruuvaamisominaisuuksia voidaan ainakin parantaa materiaalin vaahdotuksella. Työstöön sopivat esimerkiksi puuntyöstökoneet. Myös muovin työstöön tarkoitettut menetelmät soveltuvat puumuovikomposiiteille. Puumuovikomposiitti saattaa työstettäessä murtua herkemmin kuin aito puu, jonka vuoksi materiaalin muovimainen pinta saattaa rikkoutua ja näin ollen puukuidut joutuvat helpommin alttiiksi kosteudelle ja lialle. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 7.)

Komposiitteja on mahdollista ainakin lämpömuovata ja hitsata. Muoviin lisätyn puun määrä vaikuttaa kuitenkin hitsauksen pitävyyteen. Hyvä hitsaustulos saavutetaan, jos puuta on vähän. Pintaan voidaan valmistusprosessin aikana tai sen jälkeen painaa puunsyitä muistuttavia kuvioita. Jotkut valmistajat karhentavat muovipinnan hiomalla, jotta pinnasta saataisiin puumaisemman näköinen. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 7.)

4.3.2 Lujuus

Puumuovikomposiittien lujuuteen vaikuttavat esimerkiksi muovilajin lujuus, puukuitujen määrä ja valmistusmenetelmä. Mitä pidempi- ja kapeampikuituinen lujitemateriaali on, sitä paremmaksi tulee komposiitin lujuus. Tällaiset kuidut kuitenkin heikentävät komposiitin iskulujuutta. Jauhomaiset, lyhytkuituiset aineet toimivat kuten täyteaineet, eli ne jäykistävät muovia, mutta eivät tee siitä sitkeää. Komposiitin sitkeyttä eli iskulujuutta on mahdollista lisätä parantamalla kuitujen ja matriisin välistä tartuntaa erilaisilla kytKentä- ja dispergointiaineilla, sekä käyttämällä iskusitkeitä muovilajeja. Kuitujen orientoitumisella eli suuntautumisella on vaikutusta materiaalin lujuusominaisuuksiin valmistusprosessin yhteydessä sulan komposiittimateriaalin virtaussuuntien mukaisesti

suuttimessa tai muotissa. Komposiitin iskulujuus on kuitenkin huonompi verrattuna vastaavan kestopuon iskulujuuteen kuitujen ja muiden täyteaineiden käytön vuoksi. Alhaisissa, alle 0 °C, käyttölämpötiloissa iskulujuudella on vaikutusta. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 6–7.)

Komposiitin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kuidun muodon lisäksi lujiteaineen määrällä ja kuitujen partikkelikoolle. Liian korkea kuitupitoisuus saattaa vaikuttaa negatiivisesti iskulujuuteen ja venymään. Jos partikkelikoko kasvaa tietyn rajan yli, heikentää se mekaanisia ominaisuuksia. Mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa myös erilaiset muutokset, jotka tapahtuvat komposiitin eri ainesosissa sekä ulkoisissa olosuhteissa. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 6.)

Muovikappaleen joutuessa jatkuvaan kuormitukseen saattaa siinä tapahtua osittain pysyviä muodonmuutoksia eli virumista. Puukuitujen lisäys vähentää virumista. Kuitujen ja muovimatriisin hyvä sitoutuminen toisiinsa on ratkaisevaa. Sitoutumista vahvistetaan lisäämällä puukuidun ja puon sekaan erilaisia kytkentäapuaaineita, kuten maleoituja polymeerejä. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 7.)

4.3.3 Värjättävyys

Puukuitujen värit määräävät komposiitin sävyn, jos käytetty muovimateriaali on väritöntä. Komposiitin luonnollisiin sävyihin voidaan vaikuttaa ekstruusiassa muuttamalla prosessoinnin lämpötiloja, koska lämpötilan noustessa puukuidut tummenevat. Ruiskuvälussa kuitujen väri ei muutu alle 220 °C lämpötiloissa, mutta kuitenkin korkeat lämpötilat heikentävät materiaalin lujuusominaisuuksia. Puumuovikomposiitteja voidaan värjätä ja väriaineita voidaan lisätä tarvittaessa prosessin aikana. Muoveille tarkoitetut väriaineet eivät yleensä vaikuta kuitujen väriin, vaan väriaineet vaikuttavat useimmiten pelkästään muovimatriisin väriin. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 14.)

Erilaisia pintakuvioita on mahdollista saada sekoittamalla väriaineita epätasaisesti matriisiin. Menetelmää käytettäessä väri muodostaa matriisiin pitkiä epätasaisia puunsyitä muistuttavia raitoja, jonka vuoksi sitä käytetään, jos halutaan tuotteeseen puunomainen pintakuviointi. Läpivärjäyksellä on merkittävä vaikutus tuotteen ulkonäköseikkoihin. Tuotteeseen tulevat kolhut ovat huomaamattomampia, sekä niiden poistaminen hiomalla

on mahdollista riippuen tuotesovelluksesta. Näin ollen myös tuotteen ikä pitenee. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 14.)

Väriaineet lisäävät materiaalin painoa, kuten myös muut apuaineet. Suurina pitoisuuksina käytettäessä ne myös heikentävät materiaalin mekaanisia ominaisuuksia. Kuitujen värin muuttaminen on hankalampaa, mutta mahdollista. Kuitujen värjäämisen, jo kustannuksiakin ajatellen, tulisi tapahtua komposiitin valmistuksen yhteydessä. Ulkomailla tehtyjen kokeiden perusteella myös komposiitin maalaaminen on mahdollista. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 14–15.)

4.3.4 Kosteudenkesto

Kosteuden imeytyminen vaikuttaa haitallisesti myös puumuovikomposiitteihin lahottaen, turvottaen, heikentäen niiden mekaanisia ominaisuuksia sekä aiheuttaen mittapysymättömyyttä. Massiivipuuhun verrattuna haitat ovat kuitenkin pieniä. Esimerkiksi MDF:n taivutuslujuus laskee 28 vuorokauden aikana vedessä 95 %. Männyllä vastaava arvo on 50 %, puukuitutäytteisellä polypropeenilla 8 % ja puukuitutäytteisellä PVC:lla 9 %. Käytetyt kuidut, niiden määrä ja muovimatriisin valinta vaikuttavat komposiittimateriaalin kosteuskäyttäytymiseen. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 11; Holma 2008, 21.)

Kun kuitupitoisuus on suuri, on myös absorptio eli kosteuden imeytyminen suuri. Komposiitin ikä lisää myös kosteuden imeytymistä. Kosteuden vaikutuksia voidaan vähentää modifiointikäsitteilyillä sekä muovimatriisin ja kuidun sitoutumista toisiinsa parantavilla apuaineilla. Lämpökäsitelty puukuitu imee kosteutta vähemmän verrattuna käsittelemättömään puukuituun. Pinnoittamalla materiaali valmistusvaiheessa ohuella muovikalvolla, voidaan estää lahoamista ja sienten kasvua. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 11–12.)

Yksi valmistuksen haasteista on kuitujen kuivaaminen ja niiden kuivana pitäminen. Esimerkiksi normaalin niin sanotun puusepänkuivan puun kosteuspitoisuus on noin 5–7 %. Kosteat kuidut tukkivat laitteita, huonontavat pinnan laatua, tekevät onkaloita materiaaliin ja heikentävät materiaalin mekaanisia ominaisuuksia. Esimerkiksi kuitujen vesi-

pitoisuuden on oltava alle 1 % ennen kuin ne syötetään laitteeseen muovin sekaan, kun käytetään perinteistä 2-ruuviekstruuderia. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 12.)

4.3.5 Mittapysyvyys

Muoveja lämmitettäessä ne muuttavat muotoaan. On todettu, että puukuitua lisäämällä voidaan jossain määrin vähentää lämpölaajenemista. Yleisesti täyte- ja lujiteaineiden lisäämisellä matriisiin voidaan vähentää muotti- ja suulakekutistumaa merkittävästi. Tämän vuoksi niitä käytetäänkin usein mittatarkkojen tuotteiden valmistuksessa. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 12.)

4.3.6 Lämmönkesto

Luonnonkuiduilla on rajoitettu lämmön- ja palonkestävyys, joka aiheuttaa ongelmia tuotteiden valmistuksessa sekä rajoittaa niiden käyttöä vaativissa olosuhteissa. Palonestoaineen lisäyksellä voidaan kuitenkin parantaa tätä ominaisuutta. Ongelmana käytettäessä palonsuoja-aineita on löytää aineet, jotka vaikuttavat komposiitin molempiin ainesosiin, puuhun ja muoviin, yhtä tehokkaasti. Lisäksi palonsuoja-aineiden tulisi olla halogeenittomia. Halogeenit, kuten bromi, muodostavat palaessaan erittäin myrkyllisiä aineita, sekä halogeenien epäillään olevan myös karsinogeenisia. On pyrittävä mahdollisimman korkeaan paloluokitukseen, sillä lainsäädäntö ja määräykset tiukentuvat yhä. Esimerkiksi tuhkan lisäämisellä voidaan kehittää palonesto-ominaisuuksia. Näin saataisiin tuhkalta hyötykäyttöä, sillä se on jätemateriaali. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 12–13.)

Luonnonkuituja käytettäessä prosessointilämpötilat ovat rajallisia. Lämpötila rajoitetaan yleensä 200 °C:een, vaikka korkeampia lämpötiloja voidaan käyttää lyhyiden jaksojen ajan. Luonnonkuidut kestävät lyhyitä käsittelyjä 230 °C asti. Mikäli prosessointilämpötilat ovat liian korkeat, saattaa materiaali tummua ja saattaa syntyä epämiellyttäviä hajuja/päästöjä. (Holma 2008, 22.)

4.3.7 Eristyskyky

Puumuovikomposiittirakenteen lämmöneristyskykyyn voidaan parhaiten vaikuttaa valmistamalla onttoja monikerrostuotteita, esimerkiksi suulakepuristamalla. Näiden välitila on täytetty muovivaahtoeristeellä, kuten polyuretaanilla, valmistusprosessin yhteydessä. Vaahtoeristeinä voidaan käyttää myös kestumuoveista, kuten polypropeenista ja polyeteenistä, valmistettuja vaahtokerroksia. Ne ovat ympäristöystävällisiä ja kierrätettäviä vaihtoehtoja, vaikkakin niiden lämmöneristyskyky ei ole aivan polyuretaanin tasolla. Tutkimustuloksia ei kuitenkaan ole puun vaikutuksesta muovimateriaalin lämmöneristykseen. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 13.)

Muovi- ja puulajin valinnalla sekä niiden määrällä epäillään olevan vaikutusta myös materiaalin akustisiin ominaisuuksiin, kuten ääneneristykseen. Luonnonkuitukomposiittien akustisia ominaisuuksia tutkittiin Joensuun tiedepuistossa, Termoplastinen puuprojektin yhteydessä. Siellä valmistettiin pellavalujitteisista muovikomposiiteista esimerkiksi sähkökitaroita. Materiaalin räätälöitävyys ja tasalaatuisuus olivat näiden etuina verrattuna puiseen soittimeen. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 13.)

4.3.8 UV-kestävyys

Korkean muovipitoisuuden omaavat komposiitit menettävät väriään ajan myötä muovin haalistumisen takia, jos niissä ei käytetä UV-suoja-aineita tai väriaineita. Jotkut valmistajat pyrkivät peittämään vuosien saatossa tapahtuvaa haalistumista lisäämällä materiaaliin harmaata väriainetta. UV-suoja-aineita sisältävällä muovikalvolla, joka lisätään komposiittimateriaalin pintaan, pyritään myös estämään värimuutoksia. UV-säteilyllä ja sää- ja ilmastovaikutuksilla ei ole todettu olevan suurta vaikutusta ruiskuvalettujen komposiittikappaleiden mekaanisiin ominaisuuksiin. Sen sijaan materiaalin iskulujuudessa huomattiin tapahtuvan eniten muutoksia. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 13–14.)

4.3.9 Ulkonäkö

Monet eri tekijät vaikuttavat puumuovikomposiitin ulkoiseen olemukseen, joten sitä on lähes mahdotonta määritellä. Näitä tekijöitä ovat puukuidun määrä, puulaji, muovilaji, pinnan eri kuvioinnit, värit tai materiaalin paksuus. Yleisesti ajatellaan materiaalin olemusta enemmän muovimaisena kuin puumaisena. Vaikka pinnassa olisi puujäljitelmä tai puukuidun osuus olisi huomattavasti suurempi, niin tuotteen ulkonäkö muistuttaa enemmän muovia kuin puuta. Pinta saadaan näyttämään puumaisemmalta karhentamalla muovipinta hiomalla. Puu mielletään kuluttajien keskuudessa arvokkaaksi materiaaliksi, kun taas muovi puolestaan ei ole saavuttanut vastaavanlaista arvostusta, vaikka muovilla on liuta hyviä ominaisuuksia. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 8.)

Valmistusmenetelmä vaikuttaa puumuovikomposiitin ulkonäköön ja ulkonäkö voi vaihdella paljonkin. Värittömän muovimatriisiin värjäävät eriväriset puulajit. Myös puulajien koostumuksissa on eroavaisuuksia. Esimerkiksi jos kertamuoviin sekoitetaan lastulevyn puntalastua, tekee se tuotteesta vaalean puun värisen ja kuidut näkyvät tikkumaisempina. Jos esimerkiksi lämpökäsiteltyä kutterilastua sekoitetaan tuotteeseen, tulee tuotteesta sävyltään tummanruskea sekä kuidut ovat suurempia ja pidempiä. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 8.)

4.3.10 Ekologisuus

Ekologisen vaihtoehdon määrittely riippuu siitä, mitä ekologisuudella tarkoitetaan. Tuote voidaan ajatella ekologiseksi, jos esimerkiksi joku tuotteen valmistusketjun osista säästää vettä tai tuote voidaan valmistaa raaka-aineista lähtien yhdessä paikassa ja myymään tuote lähiympäristöön, jolloin raaka-aineille ja tuotteille ei synny suuria kuljetuskustannuksia. Tuotteen elinkaareissa jo yhdenkin asian parantaminen on askel eteenpäin. Kestävän kehityksen periaate kuitenkin painottaa, että on otettava elinkaari laajemmin huomioon. (Koto & Tiisala 2004.)

Ekologisuus näkyy tuotteen valmistuksen, käytön ja tämän jälkeisen toiminnan eri vaiheissa, joten tuotteiden ekologisuutta on hankala vertailla. Ekologisuus alkaa jo tuotesuunnittelussa, jossa voidaan valita vähiten luontoa kuormittavat menetelmät ja ratkaisut. Ensimmäinen valinta on materiaali. Puumuovikomposiitti ei kuitenkaan ole kaikilta

osin ekologinen vaihtoehto, kuten ei monet muutkaan materiaalit. Komposiittituotteen valmistaminen, verrattuna vastaavan puutuotteen valmistukseen, vie 3-4 kertaa enemmän energiaa. Puumuovikomposiitti sisältää kuitenkin monia perusteita, jonka vuoksi se liitetään ekologiseen materiaaliin. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 8.)

Teollisuuden sivutuotteena saadaan haluttua puukuitua. Puukuitu voidaan polttaa energiaksi jopa jätteen syntypaikassa, jolloin ei aiheudu kuljetuksen aiheuttamia päästöjä. Tämä on toistaiseksi puukuidun hävittämisen ekologisin vaihtoehto. Suomessa puu on yksi halvimmista ja tärkeimmistä energialähteistä. Jos puukuitua käytetään johonkin muuhun tarkoitukseen, johtaa se jossain määrin kalliimpien energialähteiden käyttöön. Paperi- ja kartonkiteollisuuden kierrätysmateriaaleja voidaan käyttää puukuituna. Tuotteissa jäykkyys saadaan ohuemmilla rakenteilla puumuovikomposiiteissa verrattuna neitseelliseen muoviin. Näin ollen tuote kevenee, joten sen kuljetus on edullisempaa. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 9.)

Puumuovikomposiitin, joka sisältää kestumuovia, voi heittää energiajätteeseen. Kertamuovinkin voi hävittää polttamalla esimerkiksi polttolaitoksella. Puumuovikomposiitin energiatuotannossa syntyvät päästöt ovat vähäiset, sillä puu on luokiteltu hiilidioksiditomaksi materiaaliksi. Muovit ja syntyvät muovijätteet ovat öljyn ja maakaasun kiinteä olomuoto. Lämpöarvo poltettavilla muoveilla on korkea, noin 40-60 MJ/kg. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 9.)

Puumuovikomposiittimateriaalin, joka sisältää kerta- tai kestumuovia, voi uusiokäyttää. Valmistuksessa syntyvät kestumuoviset hukkapalat voidaan sulattaa takaisin massaan, ja kertamuovi voidaan nesteyttää mäntypikeen, jolla voidaan korvata asfalttipäällysteen bitumia tai sekoittaa uudelleen hartsiin. Tulos on parempi, kun käytetään vain yhtä muovilajia. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 9.)

Uusiomuovia on mahdollista käyttää puumuovikomposiitin raaka-aineena. Tällä hetkellä tehokkaimmin muovia kierrättää teollisuus. Kuluttajien ongelmana ovat kulutustavaroissa käytetyt eri muovilajit, jotka usein päätyvät samaan jätteeseen. Uusiomuovituote mielletään usein halvaksi, mutta se voi tulla yllättävän kalliiksi, jos kierrätys ei ole toimivaa. Vaikka biomuovien käyttö olisi mahdollista, ei se välttämättä olisi ekologinen vaihtoehto. Biomuovien täydellinen hajoaminen saattaa kestää todella kauan ja näin tuhlautuu kierrätettäviä ja uudelleen käytettäviä resursseja. Toisaalta uusia mahdolli-

suuksia saadaan biohajoavilla tuotteilla. Tästä esimerkkinä on tuotteen suojaaminen naarmuuntumiselta ”maalatulla” kalvolla, joka voidaan vaarattomasti liuottaa pois. Kallista energiaa hukkaantuu sitä enemmän, mitä enemmän puumuovikomposiitteja päätyy kaatopaikoille. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 9–10.)

Puukuitu ja muut sellupohjaiset raaka-aineet korvaavat öljyn käyttöä, joka on uusiutumaton luonnonvara. Tästä syystä raakaöljyn kulutuksen vähentämistä ja korvattavuutta pidetään hyvänä asiana. Kun materiaaleja korvataan, on oltava varma, että ympäristökuormitus ei siirry elinkaaren vaiheesta toiseen. Esimerkiksi on selvitettävä puukuidun kuljettamisesta ja keräämisestä aiheutuvat ympäristörasitukset. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 10.)

Puumuovikomposiitin valmistus on monivaiheinen prosessi, jonka vuoksi ekologisuutta on vaikea määritellä. Useat tekijät aiheuttavat kustannuksia ja ympäristökuormituksia. Valmistus jakaantuu eri vaiheisiin ja ne voisivat olla seuraavanlaisia: Puukuitu pakataan tiiviisti sahalla ja kuljetetaan eteenpäin. Kuitu on kuivattava ja se mahdollisesti pelletoidaan. Kuidut ovat säilytettävä kuivana ennen kompaundointia. Kompaundoinnilla tarkoitetaan komposiittien valmistuksessa puukuidun, kestopuovin ja erilaisten lisäaineiden, kuten täyte- ja lujiteaineiden, pigmenttien ja modifiointiaineiden sekoittamista toisiinsa. Sekoittaminen tapahtuu käytettävän muovin sulatilassa. Esimerkiksi stabilisaattorit ja prosessiapuaineet ovat modifiointiaineita. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 10.)

Kompaundoinnin jälkeen seos voidaan käyttää jatko-prosessoinnissa. Tällöin seos on granulaatti- tai pellettimuodossa. Granulaatti tai pelletti on pieni muovirake, yleensä noin 2-3mm pituinen ja paksuinen. Granulaatit pakataan tiiviisti, pidetään kuivana sekä kuljetetaan tuotteita valmistavalle tehtaalte ja säilytetään käyttöä varten. Kuitenkaan kaikissa tuotantomenetelmissä ei ole näin montaa vaihetta. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 10–11.)

Nykypäivänä ekologiset materiaalit ja niiden edustamien asioiden suosiminen on tullut yhä tärkeämmäksi ja arvostetummaksi. Luonnosta peräisin olevia materiaaleja on alettu arvostaa luonnonläheisyyden arvostuksen johdosta. Värjäämättömän puumuovikomposiitin ulkonäkö synnyttää mielleyhtymän ekologisesta materiaalista. Usein myös ajatellaan ekologisuudella korostettujen myyntituotteiden olevan edullisia, eikä välttämättä

laadullisesti niin hyviä kuin neitseellisestä materiaalista valmistetut. Tuote ei kuitenkaan voi pelkästään olla ekologinen, vaan siinä on oltava myynnillisesti muitakin perusteita. (Koto & Tiisala 2004; Siponen 2006, 11.)

5 VALMISTUSMENETELMÄT

5.1 Yleistä valmistusmenetelmistä

Luonnonkuitukomposiiteille käyvät samat laitteet ja menetelmät kuin perinteisen kestomuovituotteen valmistamisessa käytettävät. Työstö ei ole kuitenkaan täysin ongelmattonta materiaalien erilaisuuden, kuten bulkkitiheyden, kosteuden tai viskositeetin takia. Luonnonkuitukomposiiteille kehitellään jatkuvasti uusia, helpompia ja halvempia valmistustapoja. Komposiittimateriaalien kehitystyössä on suuri merkitys lisä- ja apuaineilla. Väriaineiden ja voiteluaineiden käyttö on jo yleistä. Tulevaisuudessa mikrobien kasvua heikentävien aineiden, UV-stabilisaattorien ja kytkentäaineiden käyttö lisääntyy, sillä vaatimukset käyttöiän ja lujuusominaisuuksien osalta kasvavat. (Koto & Tiisala 2004)

Puukuitulujitteisen kestomuovituotteiden valmistus on kolmivaiheinen prosessi käytettävässä perinteisiä muovituotteiden valmistuslaitteita. Ensimmäisessä vaiheessa puuaines kuivataan täydellisesti, kuidutetaan ja lajitellaan haluttuun mesh-partikkelikokoon. Seuraavassa vaiheessa puukuitu-, muovi- ja apuainekomponentit sekoitetaan keskenään eli kompaundoidaan kompaunderilla pelleteiksi. Viimeisessä vaiheessa pelleteistä valmistetaan suulakepuristamalla eli ekstruusiolla tai ruiskupuristamalla eli ruiskuvalulla haluttu tuote. (Koto & Tiisala 2004) Puumuovikomposiittien yleisimmät valmistusmenetelmät ovat siis ekstruusio ja ruiskuvalu (Lappeenranta University of Technology, 4). Myös ahtopuristusta ja rotaatiovalua käytetään joskus puumuovikomposiittien valmistuksessa. Tässä työssä perehdymme kuitenkin ainoastaan ekstruusioon eli suulakepuristukseen, koska FP Finnprofiles Oy käyttää suulakepuristusta profiilien valmistuksessa.

5.2 Ekstruusio eli suulakepuristus

Ekstruusiolla voidaan valmistaa jatkuvia tuotteita kuten esimerkiksi putkia, letkuja, kalvoja, levyjä, tankoja, köysiä ja profiileja. Ekstruusio on herkkä ja monimutkainen prosessi, vaikkakin periaatteeltaan hyvin yksinkertainen. Yhdistävänä tekijänä tuotteille on suulakepuristin eli ekstruuder. Ekstruuderissa muoviraaka-aine ja mahdolliset lisäaineet sulatetaan, sekoitetaan ja syötetään suuttimelle, sekä pursotetaan tietyn profiilin mukai-

sen suulakkeen läpi. Vasta suutinosaa määrittelee tuotekohtaiset erot. Prosessi tapahtuu valvotuissa olosuhteissa, jossa laitteistoa ohjataan ja valvotaan erilaisilla mittareilla. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 98; Laurila 2007, 139.) Kuitumäärä voi vaihdella käyttökohteen mukaan, esimerkiksi luonnonkuitua voidaan käyttää jopa 85 % (Kotomäki & Tiisala 2004). Ekstruudereita voidaan käyttää myös polymeerien seostamiseen tai täyte- ja väriaineiden lisäämiseen hyvän sekoituskykynsä ansiosta (Seppälä 2006, 261).

5.2.1 Laitteisto

Ekstruusiossa sula muovimassa ja kuidut puristetaan tiiviiksi muovimassaksi ja johdetaan suulakkeen läpi, joka antaa tuotteelle sen halutun muodon. Puristimessa sijaitseva syöttöruuvi kuljettaa massaa eteenpäin. Raaka-aineeseen syntyy sitä enemmän kitkaa, mitä suurempi on ruuvien kierrosnopeus. Ruuvissa olevien kierteiden väliin jäävä tilavuus pienenee kohti kärkeä ja aiheuttaa raaka-aineen paineen nousun. Tärkeitä tekijöitä ruuvissa ovat ruuvien halkaisija sekä ruuvien pituuden ja halkaisijan suhde, L/D . (Siponen 2006, 16–17.)

Jotta suulakepuristus tapahtuisi halutulla tavalla, täytyy seuraavien edellytyksien toteutua:

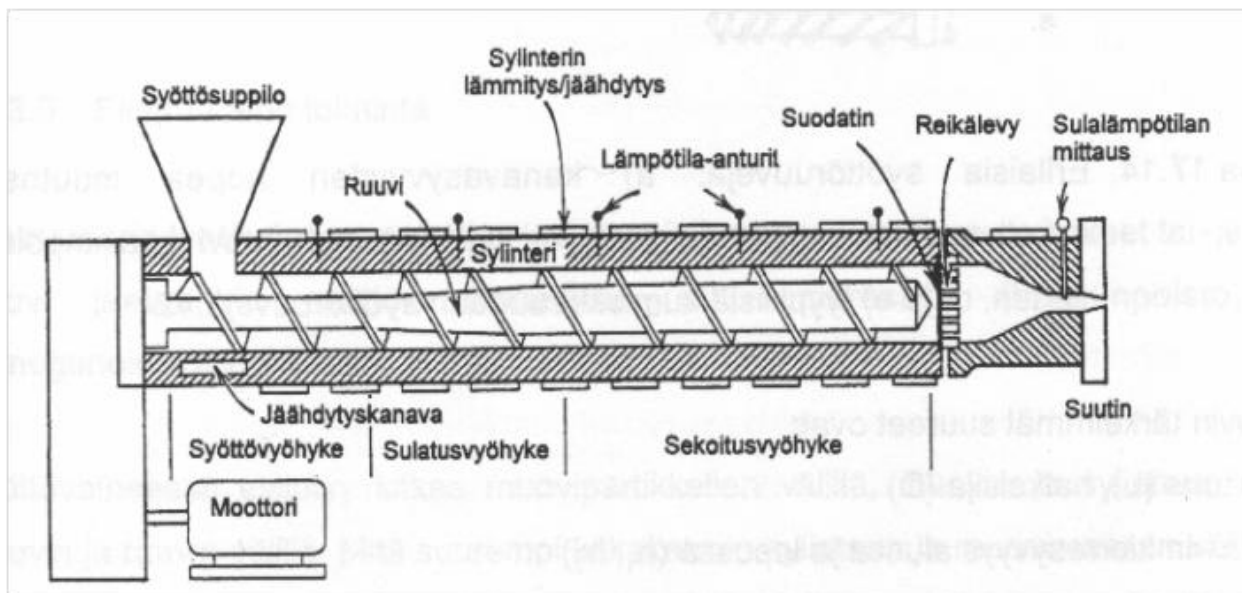
- Laitteen paine on muodostettava sopivaksi ja paineen on kohdistuttava jatkuvana ja tasaisena työstettävään materiaaliin.
- Materiaalin on käyttäytyttävä suulakkeessa oikein, joten laitteen täytyy muokata materiaali sellaiseksi.
- Materiaalin virtaus tapahtuu paineen alaisena.
- Paine poistuu suulakkeen jälkeen, jolloin materiaali on saatava pysymään halutussa muodossa. (Laurila 2007, 139.)

Ekstruuderin muodostuu sylinteristä, jonka sisällä pyörii kierukkaruuvi. Ruuvi siirtää muovigranulaatin tai jauheen syöttösuppilosta suuttimelle ja sulattaa sen kitkan tai kitkan ja sähkövastuksen avulla. Ruuvien loppupäässä muovisula homogenisoidaan eli tasa-aineistetaan. Ruuvisolassa muovi sulaa vähitellen. Sylinterin ja muovin välisen kitkan vaikutuksesta syntyy sulafilmi. Sulan muovin tiheys on suurempi kuin granulaatin, joten sulafilmi pyrkii kiertymään ruuvien harjaa vasten. Ruuvien ja sylinterin välisestä syntyy takaisinvirtaus, joka auttaa osaltaan sulamista, koska lämpö siirtyy paremmin sulan muovin välityksellä granulaatteihin. Ruuvien geometrialla säädetään esimer-

kiksi paineenkorotusta, termisiä ongelmia, materiaalin tarttuvuutta sylinterin seinämiin ja kaasun poistoa. (Kurri ym. 2002, 98–99.)

Useimmat suulakepuristimet ovat kylmäsyöttökoneita, joihin materiaali syötetään huoneenlämpöisenä, ilman esilämmitystä. Kuumasyöttökoneet, joihin materiaali syötetään lämmitettynä, ovat hieman harvinaisempia. Tämän vuoksi kylmäsyöttökoneet ovat huomattavasti kuumasyöttökoneita pidempiä, koska massa joudutaan lämmittämään koneessa. Muovien ja termoelastien prosessoinnissa käytetyt koneet ovat yleensä pituudeltaan noin 20-30 kertaa halkaisija, sillä muovit syötetään sisään granulaatteina, jotka on ensin sulatettava. (Laurila 2007, 141.)

Toimintaperiaatteeltaan ekstruuderit voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin. Pitkäruuviekstruuderit ovat yleisimpiä. Niissä ruuvin pituuden suhde halkaisijaan vaihtelee välillä 20:1- 35:1. Noin 70 % lämmöstä syntyy kitkan avulla, joten sulatukseen tarvitaan ulkopuolista lämmitystä. Kierrosluku pitkäruuviekstruudereissa vaihtelee välillä 20...200 kierrosta/minuutissa. Adiapaattisissa ekstruudereissa sulatus tapahtuu kokonaan kitkalämmön avulla. Tämän mahdollistaa korkea kierrosluku, joka vaihtelee välillä 100...1000 kierrosta/minuutissa. Adiapaattisilla ekstruudereilla on suhteellisen lyhyt ruuvi, pituuden suhde halkaisijaan vaihtelee välillä 10...15:1. Kartioekstruuderit ovat viimeisimpinä kehiteltyjä. Perusyksikön muodostavat kartiovaippaseinämien välissä pyörivät kartiovaipparuuvit, joiden pinnoille granulaatit syötetään. Kehittelyn tavoitteena on ollut monikerrosekstruusiomenetelmä, jossa orientaatiokenttä olisi eri kerroksisissa ristikkäinen. Tilan- ja energiantarvetta on myös saatu pienennettyä. Ruuvi on ekstruuderin tärkein osa. Ennen massan kulkeutumista suuttimelle, se kulkee reikälevyn/sihtipakan lävitse. Reikälevyn tarkoituksena on poistaa massasta mahdolliset roskat, jotka suuttimessa voisivat aiheuttaa häiriötä. Muovimassan paine nousee myös sopivaksi reikälevyn ansiosta. (Kurri ym. 2002, 100.) Kuvassa 2 on esitetty ekstruuderin rakenne.



KUVA 2. Ekstruuderin rakenne (Seppälä 2001, 275)

Oleellisin ero termoplastisten elastomeerien prosessoinnissa vulkanoitaviin elastomeereihin verrattuna on vulkanointivaiheen tarpeettomuus. Materiaalin muotopysyvyys saavutetaan jäähdyttämällä se. Raaka-aineentoimittaja sekoittaa usein raaka-aineita keskenään, jolloin toimitettu materiaali on suoraan prosessoitavissa. Raaka-aineeseen on kuitenkin mahdollista lisätä esimerkiksi täyteaineita vielä tehtaalla. Tällöin lisättyjen komponenttien lopullinen sekoittuminen tapahtuu vasta työstövaiheessa materiaalin sulatuksen yhteydessä. Termoelastien prosessointi jakaantuu yleensä kahteen työvaiheeseen: työstö ja viimeistely. Työstön aikana raaka-aineet sulatetaan ja sekoitetaan, materiaali muotoillaan ja jäähdytetään. Tämän jälkeen tuote viimeistellään valmiiksi tuotteeksi. (Nokia tekninen kumi, 43.).

5.2.2 Profiilien ja putkien valmistus

Suulakepuristusmenetelmällä valmistetuille tuotteille on yhteistä se, että ne voidaan valmistaa samanlaisella tuotantolinjalla. Ainoastaan suulakkeet ja kalibrointilaitteet ovat tuotekohtaisia. Tuote saa lähes lopullisen muotonsa suulakkeessa, johon sula muovimassa ohjataan ekstruuderissa. Profiilisuuttimet valmistetaan virtausteknisesti sopiviksi sulalle polymeerille. Ennen suulaketta on saatava aikaan riittävä puristusaine. Puristusaine saadaan aikaan käyttämällä sihtipakkaa, jonka tehtävänä on paineen aikaansaaminen ja tasaaminen. Kalibroinnin tarkoituksena on antaa tuotteelle tarkat ja lopulliset mitat sekä jäähdyttää tuotetta alustavasti. Tuotteen muoto syntyy kuitenkin suulake-

keessa. Kalibroinnissa on otettava huomioon jäähdytyksessä tapahtuva kutistuminen. (Kurri ym. 2002, 113–114.)

Kalibrintimenetelmiä ovat vetokalibrointi ja yli- tai alipainekalibrointi. Vetokalibrointia käytettäessä suulake on muotoiltu tarkasti profiilin muotoiseksi. Tällöin oikea koko saadaan vetämällä profiilia nopeammin kuin mitä se tulee ulos suulakkeesta. Suulake on tässä tapauksessa noin 10 % suurempi kuin haluttu tuote. Vetokalibrointia käytetään pääasiassa umpiprofiilien valmistuksessa. Profiilien kalibrointi tapahtuu useimmiten alipaineella ja putkien kalibrointi tapahtuu ali- tai ylipaineella. Aina kuitenkin kalibrintilaitteita ei käytetä, jolloin profiili ohjataan suulakkeesta jäähdytysaltaaseen. Jäähdytykseen voidaan käyttää vesisuihkuja ja -altaita sekä paineistettuja vesikylpyjä. (Tammela 1989, 359; Kurri ym. 2002, 114; Siponen 2006, 18.)

Vetolaite vetää profiilia suulakkeesta tuotannon aikana jäähdytyksen lävitse. Vetokoneina käytetään katpillarivetokoneita. Katkaisulaitteet ja pakkaus tulevat vetolaitteen jälkeen. Profiilit voidaan katkaisun jälkeen lisäkäsitellä tarpeen mukaan. Tähän kuuluu esimerkiksi painatus ja pinnoitus. Tuotantolinjojen ohjaus tapahtuu tietokoneohjatulla automaatiolla. Säätlaitteet mittaavat syntyvää tuotetta ja säättävät tarvittavia arvoja mitausten perusteella. Tarvittavan automaation asteesta riippuen tietokone ohjaa esimerkiksi ekstruuderin pyörimisnopeutta, vetolaitteen nopeutta sekä lisäaineiden ja raaka-aineiden annostelua. (Kurri ym. 2002, 115.)

Suomessa on kehitelty ekstruuderin nimenomaan puukuitukomposiittien valmistukseen. Conenor Oy:n kehittämän Conex Wood Extruderin etuina ovat haitallisen kosteuden poistaminen ja massan extrudoiminen valmiiksi tuotteeksi yhdessä laitteessa. Myös kuitujen viipymäaika prosessissa on lyhyempi ja sekoitusteho on parempi. Näin on saatu poistettua ylimääräisiä käsittely- ja työvaiheita, jonka vuoksi säästetään kustannuksissa ja myös energiakustannukset pienenevät huomattavasti. (Sipola 2006, 19; Conenor Oy.)

Monikomponenttirakenteiden valmistaminen on myös mahdollista. Siinä sulatilassa olevat materiaalit tarttuvat toisiinsa suulakkeessa, jolloin jäähdytyksen jälkeen saadaan valmis monikomponenttituote. Jos halutaan käyttää lujitteita, saadaan tarttuvuus aikaan lujitteen ja termoplastisen elastomeerin välille liimakerroksella. (Nokia tekninen kumi, 43.)

6 KIERRÄTETTÄVYYS

6.1 Muovien kierrätettävyys

Muovin käyttö on viime vuosina lisääntynyt jatkuvasti, joten muovijätettä syntyy suuria määriä vuodessa. Suurimmat esteet muovin uusiotoiminnalle ovat asiakasvaatimukset, käyttökohteiden puute, epäpuhtaudet ja kierrätyksen kannattamattomuus. Näitä esteitä on pyritty poistamaan ja saamaan uusiotuotteelle lisäarvoa. Kestomuovit voidaan lähes aina muotoilla uudestaan lämmön ja paineen avulla. Kertamuovit voidaan puolestaan rouhia ja sekoittaa ensiömuovin joukkoon uutta tuotetta valmistettaessa. Esimerkiksi epäpuhtaudet ja lopputuotteen korkeat laatuvaatimukset rajaavat muovien kierrätyksen. Muovijätteen käsittelyyn on siis useita vaihtoehtoja: kemiallinen tai mekaaninen kierrätys, tuotteen uudelleenkäyttö, energian talteenotto, muu hyötykäyttö tai viimeisenä vaihtoehtona ovat kaatopaikat. Puhutaan myös muovin kierrättämisestä takaisin luontoon, jolla tarkoitetaan biohajoavia tuotteita. Näiden tuotteiden käyttö on lisääntynyt jatkuvasti. (Kurri ym. 2002, 202–203; Riistama ym. 2003, 84–85; Polymeerimateriaalien perusteet 2009, 136–138.)

Kemiallinen kierrätys käsittää useita erilaisia menetelmiä, joiden avulla on mahdollista hajottaa ainesosien molekyylit raaka-aineeksi takaisin. Raaka-aine voidaan käyttää uudelleen jalostamiseen tai petrokemian- ja kemianteollisuudessa. Tutkimuksen alla on neljä kemiallista kierrätysmenetelmää: pyrolyysi, hydrogenointi, kaasutus ja kemolyysi. Kemiallisen kierrätyksen etuna on se, että uusiokäytössä saadaan alkuperäisen veroisia tuotteita. Kuitenkin toistaiseksi kemiallinen kierrätys on kallista ja parhaiten se onnistuu jo olemassa olevien petrokemianlaitosten yhteydessä. (Kurri ym. 2002, 203–204.)

Mekaanisessa kierrätyksessä käytetty muovi voidaan rouhinnan jälkeen käyttää sellaiseenaan tai siitä voidaan tehdä uudelleen granulaatteja. Tärkeää on se, kuinka puhtaana muovi saadaan kierrätykseen. Mitä puhtaampaa on muovi, sitä parempi on lopputulos. Tämän vuoksi muovijäte uusioidaan käyttöön useimmiten joko omassa yrityksessä tai kierrätykseen erikoistuneissa laitoksissa. Tällöin tiedetään tarkkaan muovilaatu ja muovin ominaisuudet. Näin voidaan varmistua, että muovijätteen joukossa ei ole epäpuhtauksia. Muovin ominaisuudet heikkenevät kuitenkin kerta kerran jälkeen, vaikka se tulisi

kierrätykseen kuinka puhtaana tahansa. Ominaisuuksia voidaan kuitenkin parantaa erilaisilla lisäaineilla ja tällöin on kyse muovien räätälöinnistä. (Kurri ym. 2002, 204.)

Tuotteen uudelleenkäyttö tarkoittaa sitä, että tuote kiertää käytössä sellaisenaan. Esimerkkinä tästä ovat muoviset virvoitusjuomapullot ja juomakorit. Tämän vuoksi on järkevää miettiä, miten keräys- ja kierrätysasiat saataisiin hyvin toimiviksi. Esimerkkinä muusta hyötykäytöstä voidaan mainita se että, nesteytetyllä jätemuovilla voidaan korvata osa asfalttipäällysteen bitumia. Ellei muovijätettä pystytä kierrättämään, kannattaa siihen sitoutunut energia ottaa talteen. Muovi voidaan polttaa, useimmiten muun palavan jätteen kanssa ja näin hyödyntää sitä lämmityksessä tai sähköntuotannossa. Itse asiassa muovit ovat tärkeitä apuaineita kiinteän yhdyskuntajätteen poltossa ja lämpöarvoltaan muovit vastaavat vähintään kivihiiltä. Energian talteenottolaitoksissa muovin polttaminen onnistuu parhaiten, mutta myös yksityistalouksissa muovijäte voidaan hävittää polttamalla. (Kurri ym. 2002, 203–206.) Polttaminen on mahdollista etenkin jos tuotteesta löytyy alla oleva kuva 3 tai joku muu vastaavanlainen merkintä.



KUVA 3. Tuote voidaan hävittää polttamalla (Kuva: kuluttajaliitto)

6.2 Kumien kierrätettävyys

Kumiteollisuus, kuten muutkin teollisuudenalat, tuottaa jätettä. Kumin kierrätettävyyttä ja uusiokäyttöä on tutkittu paljon. Kumi on mahdollista kierrättää ja uusiokäyttää, mutta se on hieman hankalampaa ja tehottomampaa kuin muoveilla. Kierrätettävää kumia syntyy 45 000 tonnia vuodessa Suomessa. Tästä noin 43 000 tonnia on renkaita. Tämä vastaa noin neljää miljoonaa rengasta. Jopa yli 90 % renkaista päättyy kierrätykseen. Kumiteollisuudessa syntyy myös liuotinpäästöjä liimauksessa ja pienhiukkasia sekoitusprosessissa. Kumiteollisuudelle ominainen ympäristöhaitta on kuitenkin syntyvä haju, joka ei ole terveydelle haitallista. Muita ympäristöhaittoja ovat, kuten teollisuudessa yleensäkin, melu ja jätteet. (Laurila 2007, 205–206.)

Eniten tällä hetkellä käytetty ratkaisu uusiokäyttöön on autonrenkaiden murskaaminen ja hyötykäyttö maanrakennuksessa. Toinen mahdollinen ratkaisu on kumin polttaminen, sillä kumilla on korkea energia-arvo, lähes polttoöljyn tasoa. Suomessa kuitenkin kumin polttamisen suosio on vähäistä. Kumia on mahdollista myös jauhaa puruksi tai regeneroida uusiokumiksi. Näitä molempia voidaan käyttää kumituotteissa, mutta ongelmana on alkuperäisen reseptin ominaisuuksien heikkeneminen. Näin ollen menetelmä sopii vain halvempiin kumituotteisiin. (Laurila 2007, 206.)

Kierrätettävyyden ongelmana on ollut keräilyn tehottomuus. Käytetyistä autonrenkaista tulee suurin määrä kumijätettä, joka on kuljetuksen kannalta ongelmallista, sillä kuormaan jää aina paljon tyhjää tilaa. Kuljetuskustannukset eivät saa olla liian suuret ja tehokas ja taloudellinen romun hyväksikäyttö vaatii kohtalaisen kumimäärän. Esimerkiksi autonrenkaiden keräyspisteitä on nykyään ympäri Suomea. Ostaessaan uudet renkaat kuluttaja maksaa niiden hinnassa kierrätysmaksun, joilla peitetään rengasromun käsittelyn kustannuksia. (Laurila 2007, 206.)

7 YRITYSESITTELY

FP Finnprofiles Oy on perheyritys, jolla on kokemusta suomalaisesta kumiteollisuudesta yli 30 vuoden ajalta. Nykyisessä muodossaan yritys on toiminut 20 vuotta. FP Finnprofiles Oy on jo monen vuoden ajan ollut Suomen johtava ja laajimman materiaalivalikoiman omaava tiivisteprofiilien valmistaja. Tuotannossa on yli 2000 erilaista profiilia, joita tuotetaan kahdessa nykyaikaisessa tehtaassa, Sastamalassa ja Iissä. Pääraaka-aineina ovat EPDM- ja silikonikumi sekä TPE. FP Finnprofiles Oy kehittää jatkuvasti tuotantolaitoksiaan ja henkilökuntansa ammattitaitoa. Markkina-alueena toimii Pohjoismaiden lisäksi myös muu Eurooppa. (FP Finnprofiles Oy, a.) Kuvassa 4 on esitetty FP Finnprofiles Oy:n Sastamalan tehdas.



KUVA 4. Sastamalan tehdas (Kuva: FP Finnprofiles Oy, b)

FP Finnprofiles Oy kehittää jatkuvasti uusia tuoteratkaisuja raaka-ainetoimittajien kanssa. Myös uusia profiileja suunnitellaan ja räätälöidään asiakkaiden toivomusten mukaisesti. Laaja raaka-ainevalikoima mahdollistaa moniin eri tarkoituksiin sopivat profiilit. Esimerkiksi termoelastit antavat mahdollisuuden pehmeä- ja kovalaatuisiin yhdistelmätuotteisiin. Silikonია käytetään puolestaan vaativissa olosuhteissa hyvien sään- ja lämmönkestävyysominaisuuksien ansiosta. Kumi soveltuu hyvin ominaisuuksiltaan moniin eri käyttökohteisiin. FP Finnprofiles Oy tarjoaa apua suunnittelusta jopa

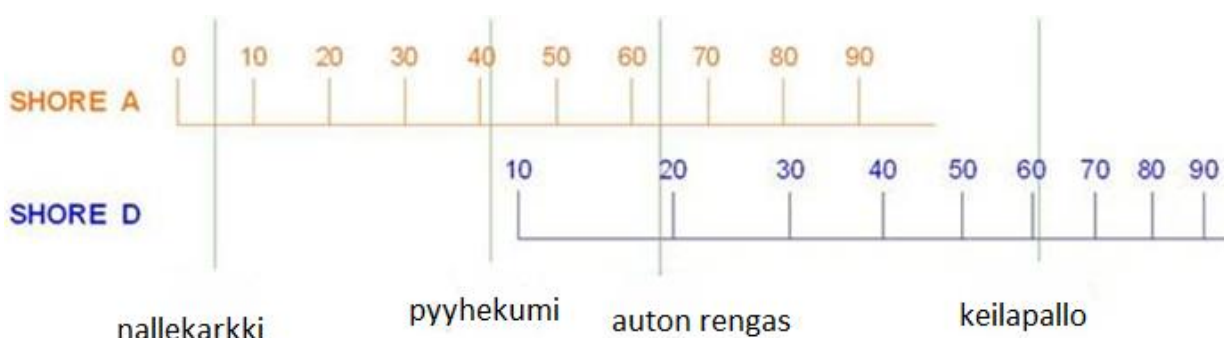
jatkojalostukseen, kuten tuotteiden teippaukseen ja stanssaukseen, asti. (FP Finnprofiles Oy, a.) Kuvassa 5 näkyy FP Finnprofiles Oy:n valmistamia profiileja.



KUVA 5. Profiileja (Kuva: FP Finnprofiles Oy, b)

8 TERMOPLASTISTEN ELASTOMEERIEEN KÄYTTÖ

FP Finnprofiles Oy:llä on käytössä monia eri TPE tyyppejä. Raaka-aineita on eri kovuuksia ja erivärisiä. Valikoimissa on erilaisia kovuuksia väliltä 50 ShA- 50 ShD. 50 ShA on pehmein valikoimissa oleva materiaali ja 50 ShD kovin. Shore A kovuuksia on väliltä 50-90, mutta koska 90 ShA ei ole tarpeeksi kova, on otettu käyttöön Shore D kovuusasteikolta 50 ShD. Raaka-aineet tulevat tällä hetkellä Ruotsista, sillä ne on havaittu parhaiten toimivimmiksi. Kuviossa 3 on havainnollistettu Shore A ja Shore D kovuusasteikkoja.



KUVIO 3. ShA ja ShD kovuusasteikot (Kuva: Hymid, muokattu)

Värit on luokiteltu seuraavaan kymmeneen luokkaan:

1. valkoinen
2. musta
3. tumma harmaa
4. harmaa
5. vaalean harmaa
6. tumma ruskea
7. ruskea
8. beige
9. sininen
10. - oma harmaa (tummempi kuin 3.)

Nämä ovat yleisimmin käytössä olevat värit, mutta asiakkaiden toivomuksesta on myös mahdollista saada muita värejä tai eri sävyjä tuotteista, kuten esimerkiksi tummempi beige/vaaleampi beige. Myös viime aikoina FP Finnprofiles Oy on kehittänyt ja tehnyt asiakkaan toivomuksesta koeajoja TPE:llä, johon on lisätty vaahdotusainetta, jolloin

tuotteesta saataisiin sienikumin kaltaista. Joten yritys on hyvin asiakaslähtöinen ja heille on tärkeää toteuttaa asiakkaiden toiveet, niin värien kuin muidenkin ominaisuuksien suhteen.

FP Finnprofiles Oy tuottaa TPE:tä vuosittain reilu 210 000 kg, josta teknistä hukkaa on noin 8 %. Väreistä suosituin on valkoinen ja sen osuus tuotannosta on noin 43 %. Muiden värien osuus tuotannosta on seuraavalainen: mustaa 29 %, harmaan eri sävyjä 16 %, ruskean eri sävyjä 10 % ja muita värejä 2 %. (Tuotantoraportti 2011-2012.)

Kaikille materiaaleille on asetettu tekniset vaatimukset, jotka on täytettävä. Myös asiakas voi vaatia tiettyjä teknisiä ominaisuuksia tuotteilta. On siis tehtävä testejä, jotta nähdään, että vaatimukset täyttyvät. Yleensä tärkeimpiä testauksia, mitä profiilituotannossa materiaaleille tehdään, ovat vetolujuuden, tiheyden, murtovenymän ja repäisylujuuden määritykset sekä kovuusmittaukset.

9 MATERIAALIN KIERRÄTYS JA RAAKA-AINE SIVUVIRRAT

9.1 Yleistä kierrätyksestä

TPE:tä on mahdollista uusiokäyttää, kuten liitteessä 1 todetaan. Myös Tampereen Teknillisen yliopiston professori Pentti Järvelä on tutkinut kierrätysmateriaalin käyttömahdollisuuksia FP Finnprofiles Oy:llä ja todennut, että kierrätysmateriaalia olisi mahdollista hyödyntää tuotannossa. Prosessoinnin pitäisi sujua ongelmitta sekä ominaisuuksien pysyä ennallaan. (Lehtiniemi & Järvelä 2012.) Jättemateriaali on ensin rouhittava uudelleen, jonka jälkeen se granuloidaan. Työvaiheet tuottavat lisäkustannuksia yritykselle, sillä näitä vaiheita ei ole mahdollista tehdä omassa tehtaassa, ainakaan vielä. Jättemateriaalia pitäisi pystyä siis hyödyntämään niin paljon, että siitä olisi yritykselle hyötyä ja että jätteen uudelleenkäyttö olisi kannattavaa.

9.2 Raaka-aine sivuvirrat

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

9.3 Kierrätysmateriaalin koeajo

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

10 SELLUKUIDUN KÄYTTÖ

10.1 Luonnonkuidun valinta

Keväällä 2012 FP Finnprofiles Oy toimitti Tampereen teknillisen yliopiston muovi- ja elastomeeritekniikan laboratorioon TPE -granulaatteja kahta eri laatua, pehmeää 60 ShA ja kovaa 50 ShD. Tuotteesta rouhittua kierrätysrouhetta toimitettiin myös TTY:lle. Tampereen teknillinen yliopisto teki testejä puhtaista materiaaleista, kierrätysrouheesta sekä näiden sekoituksista, jossa oli vaihtelevia määriä kierrätysrouhetta. Materiaaleista valmistettiin koesauvoja, joille tehtiin vetotestit, kovuusmittaus ja tiheysmittaus. Osasta sauvoista määritettiin myös materiaalien lasittumislämpötilat. Tulokset olivat suhteellisen hyviä kierrätysrouheella, joten päädyttiin, että tehdään jatkotutkimuksia myöhemmin kierrätysrouheen ja täyteaineen yhdistelmillä. (Lehtiniemi & Järvelä 2012.)

Syksyllä 2012 tehtiin jatkotutkimuksia, jossa sekoitettiin kierrätysrouhetta ja eri täyteaineita, kuten polypropeenaa, wollastoniittia, sellua ja pellavaa. Tuloksia verrattiin puhtaaseen 50 ShD materiaaliin, koska tarkoituksena oli löytää sekoitus, joka vastaisi puhtaan 50 ShD ominaisuuksia. Sekoituksista ruiskuvalettiin sauvoja, joille tehtiin vetotestit, kovuusmittaus sekä tiheysmittaus. (Lehtiniemi & Järvelä 2012.)

Jatkotutkimuksista saaduissa tuloksissa parhaiten täyteaineista pärjasi polypropeeni. Projekti on kuitenkin luonnonkuituprojekti, jolloin olisi ollut epäloogista valita joku muu täyteaine kuin luonnonkuitu. Kovuusmittauksista polypropeenin jälkeen parhaimmat tulokset saatiin sellulla, kun sellua oli sekoitettu 10 % kierrätysrouheeseen. (Lehtiniemi & Järvelä 2012.) Täten oli luonnollista valita projektissa käytettäväksi kuiduksi sellukuitu, etenkin kun sellu pärjasi pellavaa paremmin testeissä. Sellua on myös hyvin saatavilla kotimaasta, joten se oli ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

10.2 Tuotannon koeajot

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

10.2.1 Sellukuitukomposiitin kompaundointi

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

10.2.2 Sellukuitukomposiitin ekstruusio

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

11 POHDINTA

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

LÄHTEET

Chromex. Kuva. Luettu 12.3.2013. <http://www.chromex.info/homologation>

Conenor Oy. Luettu 6.2.2013. <http://www.conenor.com/index.htm>

FP Finnprofiles Oy, a. Luettu 4.3.2013. <http://www.finnprofiles.com/>

FP Finnprofiles Oy, b. Kuvat. Saatu Minttu Alanen.

Heiska, K. Kuva. Puu-muovi-yhdistelmätuotteisiin käytetään puun purua tai lastua ja muovia. Punaiseen kappaleeseen on käytetty puuta 90-, vaalean ruskeaan 70- ja tumman ruskeaan 80-painoprosenttia. VTT. 2003. Tiedote.

Holma, S. 2008. Hydrofobisen selluloosan hyödyntäminen kuitukomposiiteissa. Kuitu- ja tekstiiliteknikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Hymid. Kuva. Luettu 4.4.2013. <http://www.hymid.co.uk/blog/?p=79>

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. 5. painos. Helsinki. Opetushallitus.

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. 3. painos. Helsinki. Opetushallitus.

Järvelä, P. 2009. Silikonit ja termoelastit. Materiaalioppi. Muovi- ja elastomeeritekniikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 18.2.2013.
<https://www.tut.fi/ms/muo/kumi-instituutti/seminaarit/syksy2009/jarvela.pdf>

Jääskeläinen, A. & Sundqvist, H. 2007. Helsinki. Otatieto Oy.

Kothandaraman, B. 2008. Rubber materials. First published. USA. CRC Press.

Koto, T. & Tiisala, S. 2004. Muovi + puu. Puukuitulujitteiset muovikomposiitit. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu.

Kuluttajaliitto. Kuva. Suomen muoviteollisuusliiton merkki, joka osoittaa että muovi voidaan hävittää polttamalla. Luettu 18.3.2013. <http://www.kuluttajaliitto.fi/?s=775>

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. 3.painos. Helsinki. Opetushallitus.

Lampinen, J. 2000. Termoelastit. Teoksessa Tutkimusta ja uusia sovelluksia muovitekniikassa. Keuruu 8.-9.6.2000. Muovitekniikka. Tampereen teknillinen korkeakoulu, 192-199.

Laurila, T. 2007. Kumitekniikka. Lyhyt johdatus kumitekniikan perusteisiin. Helsinki. Opetushallitus.

Lehtiniemi, P. & Järvelä, P. 2012. Luoma- Finnprofiles- Rouhitun materiaalin käyttö. Muovi- ja elastomeeritekniikan laboratorio. Tampereen teknillinen yliopisto. Raportti.

Luonnonkuitukomposiittien oppimisympäristön ja koulutuksen kehittäminen- hanke. Luettu 26.3.2013. <http://www.luonnonkuitu.fi>

Lämsä, M. 2008. Muovilattiapäällysteen raaka-ainereseptin kehittäminen. Kemianteekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8582/L%C3%83%3Fms%C3%83%3F.Mikko.pdf?sequence=2>

Mustonen, J., Järvelä, P. & Karttunen, M. 1999. Styreenipohjaiset termoplastiset elastomeerit. Materiaaliopin laitos. Muovitekniikka. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Raportti 15/99.

Nieminen, A., Kallio, S. & Lankia, H. 2005. Paperin kemiaa. Luettu 18.2.2013. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/selluloosa.htm>

Nokia tekninen kumi. Elastomeerien mahdollisuuksia. Käsikirja.

Pirkola, S. 2010. Kotimaiset puulajit ja puumuovikomposiitti rumpukapuloiden materiaalina. Puutekniikan koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17437/pirkola_sami.pdf?sequence=1

Polymeerimateriaalien perusteet. 2009. Tampereen teknillinen yliopisto. Lahden ammattikorkeakoulu. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Åbo Akademi University. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Teknologiaellisuuden 100-vuotis säätiö. Luettu 18.2.2013. https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/PPDF/Polymeerimateriaalienperusteet_30_1_2009.pdf

Puu-muovikomposiitit. Lappeenranta University of Technology. Luettu 4.2.2013. <http://www.telwood.eu/Puumuovikomposiitit.pdf>

Raaka-aine käsikirja 4. 2001. Muovit ja kumit. 2. painos. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Riistama, K., Laitinen, J. & Vuori, M. 2003. Suomen kemianteollisuus. Helsinki. Chemas Oy.

Seppälä, J. 2001. Polymeeritekniikan perusteet. 4. painos. Helsinki. Otatieto Oy.

Seppälä, J. 2008. Polymeeritekniikan perusteet. 6. painos. Helsinki. Otatieto Oy.

Siponen, P. 2006. Puumuovikomposiittien käyttö huonekaluteollisuuden komponentteina. Puutekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11731/2007-06-20-03.pdf?sequence=1>

Tammela, V. 1989. Polymeeritiede ja muovitekniikka. Osa III. Helsinki. Otatieto Oy.

Tuotantoraportti 2011-2012. FP Finnprofiles Oy. Raportti.

VTT. 2003. (Valtion teknillinen tutkimuslaitos). Puu-muovi-yhdistelmillä voi korvata kyllästetyn puun. Tiedote. Luettu 18.3.2013.
<http://www.vtt.fi/newsarchive/2003/uutinen513.htm>

Väliaho, E. 2011. Polymeeri ja ekokemia. Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

Liite 1. Testiraportti jätemateriaalin käytöstä

1 (2)

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

2(2)

Liite 2. Sellukuitukomposiitin kovuudet

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA

Liite 3. Koeajosuunnitelma

VAIN TOIMEKSIANTAJAN VERSIOSSA
